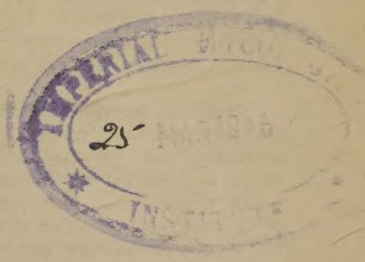
ДОКЛАДЫ

АКАДЕМИИ НАУК СССР

НОВАЯ СЕРИЯ

1945



ТОМ XLVIII

№ 3

ИЗДАТЕЛЬСТВО АКАДЕМИИ НАУК СССР
МОСКВА — ЛЕНИНГРАД

ВНИМАНИЮ АВТОРОВ

1. В «Докладах АН» помещаются краткие сообщения, содержащие наиболее существенные результаты исследований в области математики, естествознания и техники.

Сообщения эти должны излагать законченные, еще не опубликованные результаты научных исследований, имеющие характер новизны — теоретической, практической или методологической.

Статьи, помещаемые в «Докладах», не исключают последующей публикации тех же материалов в развернутом виде в других изданиях.

В «Докладах» не помещаются крупные статьи, механически разделенные на ряд отдельных сообщений.

В «Докладах» не помещаются статьи полемического характера без новых фактических данных, статьи чисто описательного характера, т. е. излагающие ход работ без сообщения определенного результата.

2. Статьи направляются через действительных членов Академии Наук СССР или непосредственно в редакцию «Докладов».

3. Статьи принимаются к напечатанию Редакционной коллегией только на основании отзыва действительных членов Академии Наук СССР по специальности.

4. Действительные члены Академии Наук СССР при направлении статей в «Доклады» для напечатания должны указывать на статьях дату их получения от авторов, а также раздел, в который статья должна войти.

5. Статьи действительных членов Академии Наук СССР и членов-корреспондентов Академии Наук СССР направляются авторами в редакцию «Докладов» непосредственно.

6. Сообщения о результатах работ, проведенных в учреждениях, должны обязательно иметь направление учреждения.

Настоящий параграф не распространяется на статьи, поступающие от академиков.

7. Каждая статья печатается в двух отдельных изданиях: русском и иностранном (на одном из языков — французском, английском или немецком, по желанию автора). Желательно, чтобы автор вместе с русским текстом статьи представил также перевод ее на один из указанных иностранных языков или, в крайнем случае, тщательно проверенную иностранную терминологию. Приложение транскрипции фамилий цитируемых иностранных авторов обязательно.

8. В конце статьи автором должно быть обозначено на русском и иностранном языках название научного учреждения, в котором произведена работа.

9. Авторам статей предлагается присылать свои сообщения в наиболее сжатой форме, совместимой с ясностью изложения. Объем статьи с рисунками не должен превышать четырех печатных страниц.

10. Ввиду срочности издания, как правило, корректуры статей авторам не посылаются.

Примечание. В тех случаях, когда корректура автору посылается, допускается лишь исправление ошибок типографии.

Корректура должна возвращаться в Редакцию не позже следующего дня. Неполучение от автора корректуры не приостанавливает печатания статьи.

11. Автор получает бесплатно 25 отдельных оттисков своей статьи из русского издания и 25 отдельных оттисков из иностранного издания. Отдельные оттиски высылаются автору только при указании им своего полного адреса в конце присланной в редакцию статьи.

12. Статьи должны быть напечатаны на машинке с двумя интервалами и представлены в двух вполне отчетливых экземплярах без помарок и вставок, на одной стороне листа. Сокращения слов, кроме стандартных, не допускаются.

13. Оба экземпляра должны быть автором тщательно просмотрены, сверены с рукописью и должным образом подготовлены к печати. Статьи должны быть оформлены в отношении расположения материала (заголовки, таблицы, цитируемая литература и т. д.) точно так, как это принято в «Докладах».

14. Все формулы должны быть вписаны четко и ясно. Особенное внимание следует обращать на аккуратное изображение индексов и показателей степени.

15. Во избежание недоразумений и ошибок следует делать также ясное различие между заглавными и строчными буквами, для чего подчеркивать заглавные буквы снизу двумя черточ-

21 июля

ДОКЛАДЫ

АКАДЕМИИ НАУК СССР

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

акад. А. Е. Арбузов, акад. С. И. Вавилов (зам. отв. редактора), акад. А. М. Деборин, акад. А. Н. Колмогоров (зам. отв. редактора), акад. Л. А. Орбели (отв. редактор), акад. А. А. Рихтер, акад. С. Л. Соболев, акад. А. Н. Фрумкин, акад. В. Г. Хлопин

НОВАЯ СЕРИЯ

13-й год издания

1945

ТОМ XLVIII, № 3

СОДЕРЖАНИЕ

Стр.

МАТЕМАТИКА

С. С. Бюшгенс. Геометрия векторного поля 163
Т. А. Сарымсаков, действительный член АН УзССР. О синтезе двух систем изложения в теории дискретных цепей Маркова 167

МЕХАНИКА

М. Крейнес. План отношений угловых скоростей регулярного зубчатого механизма с тремя степенями свободы 170

АЭРОДИНАМИКА

С. З. Беленький. О конденсационных скачках 173

ФИЗИКА

Г. Г. Леммлейн. Процесс геометрического отбора в растущем агрегате кристаллов 177
Я. Н. Фельд. Гранично-начальные задачи электродинамики 181
Б. Яворский. Ступенчатое возбуждение ртути электронным ударом . . . 185

ТЕХНИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

О. Б. Фалькова. Спектральный анализ металлов по методу порошков и определение малых концентраций бора в сталях 189

ФИЗИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

Г. С. Жданов и З. В. Минервина. Расшифровка кристаллической структуры SiCV (51-слойная упаковка) 192
Ц. Л. Минц и Г. В. Акимов, член-корреспондент АН СССР. Структура аустенитной жароупорной стали. Кинетика роста зерна и растворения карбидов в стали ЭИ-69 при нагреве 196
С. Б. Ратнер. К расчету характеристик детонационной волны, стационарно распространяющейся в конденсированных ВВ, и уравнению состояния продуктов взрыва 198

ГЕОХИМИЯ

Я. Я. Яржемский. Калийные соли Индерского поднятия 202

ГЕОЛОГИЯ

И. К. Илларионов. К вопросу о геохимии сероводорода Приволжской полосы Свияжско-Сурского водораздела 204

ГИДРОГЕОЛОГИЯ

С. В. Зонн. О роли почвообразования в формировании химического состава грунтовых вод 208

ПАЛЕОНТОЛОГИЯ

О. С. Вялов. Новые устрицы из палеогена Закаспия 212

ЭКОЛОГИЯ

А. Н. Пономарев. Об относительной стенотопности калькофитов флоры Среднего Урала в связи с их реликтовым характером 216

ФИЗИОЛОГИЯ РАСТЕНИЙ

Т. Т. Демиденко. Влияние гранулированного суперфосфата на урожай растений при внесении его в рядки совместно с семенами 220

К. Сухоруков и Б. Строгонов. О действии гетероауксина на клетки в связи с заболеваниями растения 224

ФИТОПАТОЛОГИЯ

А. М. Вовк. Мозаичная болезнь бобовых 228

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ МОРФОЛОГИЯ

Л. В. Полежаев. Химические методы восстановления регенерационной способности конечностей у головастиков 232

ЗООЛОГИЯ

М. Я. Теилякова. Сравнительные данные по развитию органов размножения вредной черепашки *Eurygaster integriceps* Put. на равнине юга СССР и в Узбекистане 257

Отв. редактор акад. Л. А. Орбели

Подп. в печать 6.VIII.1945 г. А21346 5 печ. л. 7,5 уч.-издат. л.
Заказ № 499 Тираж 3000 экз. Цена 4 руб.

2-я типография Издательства Академии Наук СССР, Москва, Шубинский, 10.

Доклады Академии Наук СССР
1945. Том XLVIII, № 3

МАТЕМАТИКА

С. С. БЮШГЕНС

ГЕОМЕТРИЯ ВЕКТОРНОГО ПОЛЯ

(Представлено академиком Н. Н. Лузиным 17 VII 1944)

Исследования ряда геометров (Lie, Lilienthal, Voss, Rogers, Darboux, Синцов, Inzigers, Knoll, Бланка и др.) были посвящены линиям, удовлетворяющим уравнению

$$A(x, y, z)\,dx + B(x, y, z)\,dy + C(x, y, z)\,dz = 0$$

или, что то же самое, линиям, ортогональным к линиям конгруенции

$$\frac{dx}{A} = \frac{dy}{B} = \frac{dz}{C}.$$

Для векторного поля $(A : B : C)$ были определены линии кривизны, сопряженные направления, асимптотические направления, геодезические линии и был получен целый ряд геометрических свойств.

Предлагаемая работа имеет целью применить к векторному полю метод Картана подвижного репера, дополнить определения основных понятий и решить ряд проблем относительно структуры поля.

1. Возьмем подвижной репер трех ортов J_1, J_2, J_3, связанный с точкой $\overline{M}$; для перемещения последней примем

$$d\overline{M} = \omega_0^{\alpha} J_{\alpha}. \tag{1}$$

Пусть

$$\overline{\omega} = pJ_1 + qJ_2 + rJ_3 \tag{2}$$

будет вектор Дарбу мгновенного вращения репера для выбранного перемещения точки $d\overline{M}$, тогда

$$dJ_1 = rJ_2 - qJ_3; \quad dJ_2 = pJ_3 - rJ_1; \quad dJ_3 = qJ_1 - pJ_2. \tag{3}$$

Введенные формы Пфаффа связаны уравнениями структуры

$$\left.\begin{array}{ll} (\omega_0^1)' = r\omega_0^2 - q\omega_0^3; & p' = rq; \\ (\omega_0^2)' = p\omega_0^3 - r\omega_0^1; & q' = pr; \\ (\omega_0^3)' = q\omega_0^1 - p\omega_0^2; & r' = qp; \end{array}\right\} \tag{4}$$

внешние произведения форм я обозначаю здесь для простоты без всякого знака, как обычные произведения. Мы всегда будем предполагать, что $\omega_0^1\omega_0^2\omega_0^3 \neq 0$, и положим

$$p = p_{\alpha}\,\omega_0^{\alpha}, \quad q = q_{\alpha}\,\omega_0^{\alpha}, \quad r = r_{\alpha}\,\omega_0^{\alpha}. \tag{5}$$

Вектор Дарбу $\overline{\omega}$ связан с выбранным репером, но его проекция на плоскость, перпендикулярную к вектору J_3, не зависит от вращения репера около оси J_3. Поэтому направление, ортогональное одновременно и к вектору J_3 и к вектору $\overline{\omega}$, не зависит от выбора пары J_1, J_2.

2. Перемещение, ортогональное вектору J_3 поля, должно удовлетворять уравнению

$$J_3 d\overline{M} = 0 \tag{6}$$

или

$$\omega_0^3 = 0. \tag{6'}$$

Последнее в общем случае дает линии, ортогональные к векторам поля, короче, ортогональные траектории поля. Если уравнение (6') вполне интегрируемо, то

$$(\omega_0^3)' \omega_0^3 = 0, \tag{7}$$

и мы имеем семейство поверхностей, ортогональных к векторам поля. Развертывая условие (7) с помощью формул (4), получим

$$p\omega_0^2 \omega_0^3 + q\omega_0^3 \omega_0^1 = 0 \tag{7'}$$

или

$$p_1 + q_2 = 0. \tag{7''}$$

Таково необходимое и достаточное условие для существования в данном поле семейства ортогональных поверхностей.

3. Я называю линией кривизны поля такую линию, которая в каждой своей точке одновременно ортогональна и к соответствующему вектору поля и к соответствующему вектору Дарбу. Линии кривизны поля должны удовлетворять уравнениям:

$$\omega_0^3 = 0, \quad (p)\omega_0^1 + (q)\omega_0^2 = 0 \tag{8}$$

или же уравнениям

$$\omega_0^3 = 0, \quad p_1(\omega_0^1)^2 + (p_2 + q_1)(\omega_0^1)(\omega_0^2) + q_2(\omega_0^2)^2 = 0. \tag{8'}$$

Здесь обыкновенные произведения форм я отмечаю, заключая формы в скобки.

Поле векторов, как видим, имеет две конгруенции линий кривизны. Вдоль линии кривизны поля его векторы образуют развертывающуюся поверхность, ибо условия

$$\omega_0^3 = 0, \quad d\overline{M} J_3 dJ_3 = 0 \tag{9}$$

равносильны уравнениям (8).

Две линии кривизны поля в точке $\overline{M}$ вообще не ортогональны между собой; условие (7'') будет условием их ортогональности. Таким образом, необходимым и достаточным условием существования ортогонального семейства поверхностей в поле является ортогональность его линий кривизны.

Если поле допускает ортогональное семейство поверхностей, то, очевидно, линии кривизны поля располагаются на поверхностях этого семейства и будут для них линиями кривизны в классическом смысле.

4. Пусть семейство (6') будет семейством Ламе, т. е. семейством, входящим в тройноортогональную систему поверхностей; примем (J_1) и (J_2) за два поля, касательных к линиям кривизны поверхностей семейства (6'). Тогда уравнения двух дополнительных семейств поверхностей будут:

$$J_1 d\overline{M} \equiv \omega_0^1 = 0, \qquad J_2 d\overline{M} \equiv \omega_0^2 = 0,$$

и, требуя полной интегрируемости этих уравнений, мы придем к одному условию:

$$r_3 = 0. \tag{10}$$

Итак, для того чтобы семейство поверхностей было семейством Ламе, необходимо и достаточно, чтобы поле касательных одной конгруен-

ции их линий кривизны допускало ортогональное семейство поверхностей.

5. Для любого перемещения вектор

$$\bar{\theta} = pJ_1 + qJ_2 \tag{11}$$

будет проекцией вектора Дарбу $\bar{\omega}$ на плоскость, нормальную к вектору J_3. Линию, ортогональную к векторам поля и вдоль которой всякое перемещение параллельно соответствующему вектору $\bar{\theta}$, я называю асимптотической линией поля. Итак, асимптотические линии поля мы определим уравнениями

$$\omega_0^3 = 0, \qquad (p)\omega_0^1 = (q)\omega_0^2 \tag{12}$$

или уравнениями

$$\omega_0^3 = 0, \quad q_1(\omega_0^1)^2 + (q_2 - p_1)(\omega_0^1)(\omega_0^2) - p_2(\omega_0^2)^2 = 0. \tag{12'}$$

Пусть

$$d^2\bar{M}/ds^2 = \bar{\nu}/\rho \qquad (J_3 d\bar{M}/ds = 0)$$

будет вектором кривизны какой-либо линии, ортогональной к векторам поля (J_3). Тогда

$$\frac{1}{R} = \frac{\bar{\nu} J_3}{\rho} = -\frac{d\bar{M} dJ_3}{ds^2} = \frac{-(q)\omega_0^1 + (p)\omega_0^2}{ds^2}, \tag{13}$$

откуда следует, что бинормаль асимптотической линии в каждой ее точке совпадает с соответствующим вектором поля. Экстремальные значения нормальной кривизны $1/R$ определяются уравнением

$$\frac{1}{R^2} + \frac{q_1 - p_2}{R} - q_1 p_2 - \frac{1}{4}(p_1 - q_2)^2 = 0,$$

откуда

$$\begin{aligned} M &= \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} = p_2 - q_1, \\ K_g &= \frac{1}{R_1 R_2} = p_1 q_2 - p_2 q_1 - \frac{1}{4}(p_1 + q_2)^2. \end{aligned} \tag{14}$$

Первое из этих выражений мы назовем средней кривизной поля, второе — гауссовой кривизной поля; при условии (7″) они обращаются в классические выражения соответствующих кривизн для поверхностей, ортогональных векторам поля. Направления экстремальных нормальных кривизн определяются уравнением

$$\frac{p_1 - q_2}{2}(\omega_0^1)^2 + (p_2 + q_1)(\omega_0^1)(\omega_0^2) - \frac{p_1 - q_2}{2}(\omega_0^2)^2 = 0; \tag{15}$$

эти два направления всегда взаимоперпендикулярны, но они вообще отличны от направлений линий кривизны поля. Направления (15) совпадают с соответствующими направлениями линий кривизны поля в том случае, когда поле допускает ортогональное семейство поверхностей.

Возвращаясь к асимптотическим линиям, я утверждаю, что линии кривизны гармонически разделяются асимптотическими линиями поля только в одном из двух случаев, когда та или другая система линий представляет собой ортогональную систему.

6. Если главная нормаль линии в каждой точке совпадает с соответствующим вектором поля, то эту линию мы называем геодезической линией поля.

Для поля (J_3) уравнения геодезических линий будут

$$\omega_0^3 = 0, \qquad (\omega_0^2)\,d\omega_0^1 - (\omega_0^1)\,d\omega_0^2 - (r)\left\{(\omega_0^1)^2 + (\omega_0^2)^2\right\} = 0. \tag{16}$$

Пусть σ будет угол геодезической линии с вектором J_1, тогда уравнения (16) примут вид:

$$\omega_0^3 = 0, \qquad d\sigma + r = 0. \tag{16'}$$

7. Перемещение $\delta\overline{M}$ я назову односторонне сопряженным с перемещением $d\overline{M}$, если первое ортогонально к двум векторам J_3 и $J_3 + qJ_3$; таким образом

$$\omega_0^3(\delta) = 0, \quad \{q(d)\}\omega_0^1(\delta) - \{p(d)\}\omega_0^2(\delta) = 0. \tag{17}$$

Эти два направления $\delta\overline{M}$ и $d\overline{M}$ вообще не симметричны. Они будут симметричными при условии (7″); в этом случае они располагаются на поверхностях ортогонального семейства и на них будут сопряженными направлениями в обычном смысле.

Следуя иному пути, мы можем определить двусторонне сопряженные направления как такие направления, которые ортогональны к векторам поля и гармонически разделяются асимптотическими направлениями.

В этом случае мы имеем

$$\begin{gathered} q_1\omega_0^1(d)\,\omega_0^1(\delta) + (q_2 - p_1)\{\omega_0^1(d)\,\omega_0^2(\delta) + \omega_0^1(\delta)\,\omega_0^2(d)\} - \\ - p_2\omega_0^2(d)\,\omega_0^2(\delta) = 0, \\ \omega_0^3(d) = 0, \qquad \omega_0^3(\delta) = 0. \end{gathered} \tag{18}$$

8. Пусть $d\overline{M}$ и $\delta\overline{M}$ — два любых направления, ортогональных вектору поля (J_3). Я назову полной кривизной поля в данной точке отношение объемов двух параллелепипедов, построенных на тройках J_3, $J_3 + dJ_3$, $J_3 + \delta J_3$ и J_3, $d\overline{M}$, $\delta\overline{M}$. Итак,

$$K_t = \frac{J_3(J_3 + dJ_3)(J_3 + \delta J_3)}{J_3 d\overline{M}\,\delta\overline{M}} = p_1q_2 - p_2q_1. \tag{19}$$

Если поле допускает ортогональное семейство поверхностей, то полная кривизна поля будет полной кривизной этих поверхностей.

Московский гидромелиоративный институт
им. В. Р. Вильямса

Поступило
17 VII 1944

Доклады Академии Наук СССР
1945. Том XLVIII, № 3

МАТЕМАТИКА

Т. А. САРЫМСАКОВ, действительный член АН УзССР

О СИНТЕЗЕ ДВУХ СИСТЕМ ИЗЛОЖЕНИЯ В ТЕОРИИ ДИСКРЕТНЫХ ЦЕПЕЙ МАРКОВА

1. Совокупность работ, посвященных классическим цепям Маркова с дискретным множеством возможных состояний, по крайней мере грубо, можно разбить на две категории: работы, в которых принята качественная система изложения, и работы, в которых принята количественная система изложения. Та и другая имеют свои положительные и отрицательные черты. В качестве образца первой системы изложения можно указать на работу А. Н. Колмогорова (1) или W. Doeblin'a (6), а второй системы — на работу В. И. Романовского (5), результаты которой можно перенести, пользуясь, в основном, предельным переходом, на случай цепей со счетным числом возможных состояний.

Положительная черта первой системы заключается в том, что формулировка теорем приобретает характер, доступный физической интерпретации, отрицательная же ее черта — что мы не имеем алгоритма для вычисления тех или иных вероятностей и величин, связанных с ними. Вторая система изложения, наоборот, позволяет устранить недостатки первой, не обладая ее преимуществами.

В качестве примера, иллюстрирующего эти соображения, можно указать на теорему IV-а, из работы А. Н. Колмогорова (1), перефразировав ее для цепей с конечным числом состояний, и на теорему В из работы В. И. Романовского (5), которую можно обобщить на случай цепей со счетным числом состояний: обе эти теоремы посвящены одному и тому же вопросу. В нашем изложении они формулируются в теореме 8.

Цель настоящей заметки—дать синтез этих двух важных систем изложения в теории дискретных цепей Маркова; необходимость ее диктуется изложенными выше соображениями. Попытка такого синтеза отчасти осуществляется в заметке W. Doeblin'a (3). Для сокращения и упрощения изложения мы будем рассматривать дискретные однородные цепи Маркова с конечным числом возможных состояний.

2. Указанный синтез основывается на теоремах, формулируемых ниже. Употребляемые в дальнейшем без определения понятия мы заимствуем из работ А. Н. Колмогорова (1) и В. И. Романовского (5).

Укажем литературные источники основных употребляемых нами понятий: стохастическая матрица (5), стр. 148; неразложимая и разложимая матрицы (5), стр. 153; примитивная и импримитивная матрицы (5), стр. 160; циклическая матрица индекса k (5), стр. 162; существенный класс состояний, его подклассы, несущественные состояния (1), § 2; положительно или неотрицательно или вообще регулярная цепь Маркова (4); эргодический принцип (2).

В дальнейшем через S будем обозначать все множество возможных состояний и через E_i $(i=\overline{1, n})$ сами возможные состояния. Обозначения M_{ij}, $\Pi_{ij}^{(m)}$ заимствуем у А. Н. Колмогорова ([1], стр. 2 и 5).

Теорема 1. *Для того чтобы стохастическая матрица Ф была неразложима, необходимо и достаточно, чтобы все множество возможных состояний S представляло один существенный класс.*

Теорема 2. *Для того чтобы стохастическая матрица Ф имела $\lambda_0=1$ корнем кратности k, необходимо и достаточно чтобы множество возможных состояний содержало k существенных классов; тогда матрица Ф может быть приведена к виду*

$$\Phi=\left|\begin{array}{c|c} \begin{matrix} L_{11} & 0 & \dots & 0 \\ 0 & L_{22} & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & \dots & \dots & L_{kk} \end{matrix} & 0 \\ \hline S & T \end{array}\right|,$$

где L_{ii} $(i=1, k)$ и T — квадратные матрицы, а S — прямоугольная,

Теорема 3. *Для того чтобы неразложимая стохастическая матрица Ф имела корнями все корни уравнения*

$$\lambda^k-1=0,$$

необходимо и достаточно, чтобы все множество возможных состояний S представляло один существенный класс, состоящий из k подклассов.

Теорема 3а. *Для того чтобы множество возможных состояний представляло один существенный класс, состоящий из k подклассов, необходимо и достаточно, чтобы соответствующая стохастическая матрица Ф была циклической матрицей индекса k, т. е. могла быть приведена к виду:*

$$\Phi=\begin{pmatrix} 0 & L_{12} & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & L_{23} & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & L_{k-1\,k} \\ L_{k1} & 0 & 0 & \dots & 0 \end{pmatrix},$$

где L_{ij} — прямоугольные матрицы с числом столбцов m_i и числом строк m_j.

Теорема 4. *Для того чтобы стохастическая матрица Ф была примитивна, необходимо и достаточно, чтобы множество возможных состояний содержало лишь один существенный класс, состоящий из одного подкласса, независимо от того, имеются ли несущественные состояния или нет.*

Приведенных теорем вполне достаточно для установления связи между указанными выше двумя системами изложения. Впрочем, принятая нами система изложения представляет известный интерес и для теории неотрицательных матриц. Предполагая в нескольких дальнейших статьях детальнее изучить некоторые вопросы и теоремы теории цепей Маркова, особенно со счетным числом возможных состояний, исходя из указанной связи, мы закончим нашу заметку сообщением следующих теорем, иллюстрирующих предлагаемый синтез.

Теорема 5. *Для того чтобы цепь Маркова была регулярна, необходимо и достаточно, чтобы множество возможных состояний содержало лишь один существенный класс, состоящий из одного подкласса.*

Замечание. Для положительной регулярности в теореме 5 следует потребовать еще, чтобы множество S не содержало несущественных состояний.

Теорема 6. *Для любого E_i из существенного класса*

$$\lim_{m\to\infty} \prod_{ii}^{(m)} = \frac{1}{M_{ii}} = \frac{\Phi_{ii}^{(1)}}{\Sigma \Phi_{jj}} *;$$

суммирование по j ведется в пределах одного существенного класса, содержащего состояние E_i; матрица Φ составляется из переходных вероятностей, соответствующих состояниям этого же класса; наконец, $\Phi_{ii}^{(1)}$ — минор определителя $|\lambda E - \Phi|$, где E — единичная матрица, соответствующая элементу $\lambda - p_{ii}$ при $\lambda = 1$.

Теорема 7. *Для выполнения эргодического принципа в смысле* [2] *необходимо и достаточно, чтобы множество возможных состояний содержало один существенный класс, состоящий из одного подкласса, независимо от того, имеются ли несущественные состояния или нет.*

Обозначим через $S^{(1)}, S^{(2)}, \ldots, S^{(r)}$ существенные классы множества S и через $S_1^{(a)}, S_2^{(a)}, \ldots S_{d(a)}^{(a)}$ — подклассы класса $S^{(a)}$ $(a = \overline{1, r})$**.

Тогда имеем:

Теорема 8. *В классе $S^{(a)}$ для любых E_i из подкласса $S^{(a)}$ и E_f из подкласса $S_\gamma^{(a)}$ вероятность $p_{ij}^{(n)}$ стремится к пределу*

$$p_j = \frac{\Phi_{jj}(1)\, d(a)}{\sum\limits_j \Phi_{jj}(1)},$$

не зависящему от i, когда n стремится к бесконечности, пробегая значения

$$n \equiv \gamma - \beta \pmod{d(a)}.$$

Суммирование по j ведется в пределах существенного класса $S^{(a)}$, и матрица Φ составляется из переходных вероятностей, соответствующих состояниям этого же класса $S^{(a)}$.

Из этой теоремы как следствие непосредственно вытекает следующая известная

Теорема 9. *Сумма пределов p_j по всем состояниям каждого подкласса равна единице.*

Среднеазиатский государственный университет, Ташкент

Поступило 7 VIII 1944

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

[1] А. Н. Колмогоров, Бюлл. МГУ, сек. А, **1**, вып. 3 (1937). [2] А. Н. Колмогоров, Успехи матем. наук, V (1938). [3] W. Doeblin, C. R., **203**, 24 (1936). [4] M. Fréchet, Recherches théoriques modernes sur le calcul des probabilités, second livre, Paris, 1938. [5] V. Romanovsky, Acta Math., **66**, 147 (1935). [6] W. Doeblin, Rev. Mathém. de l'Union Interbolkanique, **2**, 1 (1938).

* Можно доказать, что в рассматриваемом случае все M_{ij} $(i, j = \overline{1, n})$ конечны.

** Впрочем, заметим, что можно указать простой алгоритмический прием для определения числа подклассов $d(a)$ класса $S^{(a)}$, пользуясь матрицей переходных вероятностей, соответствующих состояниям класса $S^{(a)}$.

Доклады Академии Наук СССР
1945. Том XLVIII, № 3

МЕХАНИКА

М. КРЕЙНЕС

ПЛАН ОТНОШЕНИЙ УГЛОВЫХ СКОРОСТЕЙ РЕГУЛЯРНОГО ЗУБЧАТОГО МЕХАНИЗМА С ТРЕМЯ СТЕПЕНЯМИ СВОБОДЫ

(Представлено академиком Л. С. Лейбензоном 28 I 1945)

В статье ([1]) введено понятие «регулярный зубчатый механизм», проведено построение плана угловых скоростей и рассмотрены его приложения к исследованию и синтезу регулярных механизмов, обладающих двумя степенями свободы. Настоящая работа посвящена введению плана отношений угловых скоростей и его приложениям к исследованию и синтезу регулярных зубчатых механизмов с тремя степенями свободы.

Рассмотрим некоторый регулярный зубчатый механизм, обладающий тремя степенями свободы, обозначим его основные звенья символами 1, 2, .., n и заметим, что связи, устанавливаемые таким механизмом между угловыми скоростями $\omega_1, \omega_2, \ldots, \omega_n$ его основных звеньев 1, 2, ..., n могут быть записаны в виде системы уравнений:

$$\begin{aligned} \omega_1 &= a_1 u + b_1 v + c_1 w, \\ \omega_2 &= a_2 u + b_2 v + c_2 w, \\ &\cdots\cdots\cdots \\ \omega_n &= a_n u + b_n v + c_n w, \end{aligned} \tag{1}$$

где u, v, w — три независимые параметра, а $a_1, a_2, \ldots, b_1, b_2, \ldots, c_1, c_2, \ldots$ — постоянные коэффициенты, определяющиеся конструкцией механизма и выбором параметров u, v и w.

Примем u, v, w за однородные координаты точки проективной плоскости и, пользуясь декартовой системой координат xOy, будем изображать тройку чисел u, v, w точкой с координатами $x = u/w$, $y = v/w$.

Нанесем на чертеж прямые $\omega_1 = 0$, $\omega_2 = 0, \ldots, \omega_n = 0$ и те точки плоскости, в которых пересекаются три или более таких прямых, назовем узловыми точками. Нанесем далее на чертеж прямые $\omega_1 = \omega_2$, $\omega_1 = \omega_3, \ldots, \omega_{n-1} = \omega_n$; получившийся в результате всего этого построения чертеж назовем планом отношений угловых скоростей рассматриваемого регулярного зубчатого механизма с тремя степенями свободы.

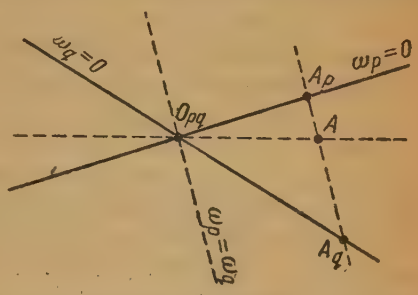
План отношений угловых скоростей обладает следующими свойствами:

1. Каждой точке плана соответствует вполне определенное значение отношения угловых скоростей любых двух основных звеньев механизма. Для того чтобы определить значение отношения ω_p/ω_q, соответствующее некоторой точке A (см. рисунок), рассмотрим прямые $\omega_p = 0$ и $\omega_q = 0$ и их точку пересечения обозначим O_{pj}; искомая величина отношения $\left.\frac{\omega_p}{\omega_q}\right|_A$ равна сложному отно-

шению лучей $\omega_p = 0$, $\omega_q = 0$, $O_{pq}A$ и $\omega_p = \omega_q$. Для определения величины $\left.\frac{\omega_p}{\omega_q}\right|_A$ можно, например, через точку A провести прямую, параллельную прямой $\omega_p = \omega_q$; отношение направленных отрезков AA_p и AA_q этой прямой и будет равно $\left.\frac{\omega_p}{\omega_q}\right|_A$.

2. Некоторые две прямые $\omega_p = 0$ и $\omega_q = 0$ $(p \neq q)$ совпадают в том и только в том случае, когда механизм устанавливает неизменное передаточное отношение между звеньями p и q.

3. Некоторые три прямые $\omega_p = 0$, $\omega_q = 0$ и $\omega_r = 0$ пересекаются в одной узловой точке в том и только в том случае, когда механизм устанавливает между угловыми скоростями звеньев p, q и r соотношение вида $a\omega_p + b\omega_q + c\omega_r = 0$, где a, b и c — постоянные, определяющиеся конструкцией механизма. При этом, например, отношение коэффициентов b и a равно взятому с обратным знаком сложному отношению лучей $\omega_p = 0$, $\omega_q = 0$, $\omega_r = 0$ и $\omega_p = \omega_q$.



4. Коэффициенты a, b и c удовлетворяют условию $a + b + c = 0$ и, следовательно, соотношение $a\omega_p + b\omega_q + c\omega_r = 0$ может быть записано в виде $\omega_p - \omega_r = i(\omega_q - \omega_r)$, где i — рациональное число, определяющееся конструкцией механизма, в том и только в том случае, когда все три прямые $\omega_p = \omega_q$, $\omega_q = \omega_r$ и $\omega_r = \omega_p$ совпадают*.

5. Рассматриваемый механизм является механизмом без постоянной внешней опоры момента в том и только в том случае, когда все прямые $\omega_1 = \omega_2$, $\omega_1 = \omega_3, \ldots, \omega_{n-1} = \omega_n$ пересекаются в одной точке.

6. Исходя из прямых $\omega_1 = 0$, $\omega_2 = 0, \ldots, \omega_n = 0$ и $\omega_1 = \omega_2, \omega_1 = \omega_3, \ldots, \omega_1 = \omega_n$, можно начертить любую из прямых $\omega_p = \omega_q$ $(p, q = 1, 2, \ldots, n; p \neq q)$.

7. Пользуясь планом отношений угловых скоростей регулярного механизма с тремя степенями свободы, можно построить план угловых скоростей любого из тех механизмов с двумя степенями свободы, которые получаются из рассматриваемого, если в нем остановить одно из основных звеньев. Для построения плана угловых скоростей механизма, получающегося из рассматриваемого благодаря остановке некоторого звена p, выбрав произвольным образом на прямой $\omega_p = 0$ начало и положительное направление отсчета, примем эту прямую за ось OU, а ей перпендикулярную прямую за ось $O\Omega$.

Проведем далее некоторую прямую, параллельную прямой $\omega_p = 0$; пусть ее уравнение имеет вид $\omega_p' \equiv a_p'u + b'_p v + c_p'w = 0$. Рассмотрим теперь одну из прямых $\omega_q = 0$ $(q = 1, 2, \ldots, n, q \neq p)$ и обозначим A_q ее точку пересечения с прямой $\omega_p = 0$. Восстановим в точке пересечения прямых $\omega_p' = \omega_q$ и $\omega_p = 0$ перпендикуляр к линии $\Omega = 0$; на этом перпендикуляре возьмем точку B_q, имеющую ординату Ω, равную 1.

Через точки A_q и B_q проведем прямую. Такое построение проведем для всех значений $q \neq p$. Построенные нами прямые в системе координат $UO\Omega$ и являются графиками угловых скоростей основных звеньев механизма с двумя степенями свободы, получающегося из рассматриваемого в результате остановки звена p. Все эти графики

---

* Заметим, что из совпадения двух из этих прямых следует совпадение всех трех.

начерчены в предположении, что за единицу измерения угловых скоростей принята величина ω'_p.

При построении плана угловых скоростей механизма с двумя степенями свободы, получающегося из рассматриваемого путем включения муфты, соединяющей некоторые два его основных звена p_1 и p_2, все предыдущее построение следует проводить, исходя из прямой $\omega_{p_1} = \omega_{p_2}$, играющей в этом случае ту роль, которую играла прямая $\omega_p = 0$ при остановке звена p.

8. Пусть прямые $\omega_{p_1} = 0$, $\omega_{p_2} = 0,\ldots$, $\omega_{p_k} = 0$ пересекаются в одной точке; тогда план отношений угловых скоростей дает возможность построить основу ([1]) плана угловых скоростей любого из тех механизмов с двумя степенями свободы, которые воспроизводят связи, устанавливаемые рассматриваемым механизмом между угловыми скоростями ω_{p_1}, $\omega_{p_2},\ldots$, ω_{p_k}. Для построения указанной основы плана угловых скоростей при условии, что за ведущее звено принято, например, звено p_1, следует удалить все прямые, кроме прямых $\omega_{p_1} = 0$, $\omega_{p_2} = 0,\ldots$, $\omega_{p_k} = 0$ и $\omega_{p_1} = \omega_{p_2}$, $\omega_{p_1} = \omega_{p_3},\ldots$, $\omega_{p_1} = \omega_{p_k}$, и затем для оставшегося чертежа провести построение пункта 7, отправляясь от произвольной прямой, параллельной прямой $\omega_{p_1} = 0$; за единицу при измерении угловых скоростей надо при этом принять угловую скорость ω_{p_1}.

При приложении приведенных выше соображений к синтезу регулярных зубчатых механизмов с тремя степенями свободы следует, исходя из целевого назначения строящегося механизма, составить систему уравнений (1) и нанести на чертеж прямые $\omega_p = 0$ ($p = 1, 2,\ldots, n$) и $\omega_p = \omega_q$ ($p, q = 1, 2,\ldots, n$, $p \neq q$). Далее следует рассмотреть систему S уравнений, порождаемых (см. пункт 3) различными узловыми точками получающегося чертежа; если система S содержит $n - 3$ независимых уравнений, то построенный чертеж и является планом отношений угловых скоростей строящегося механизма; если же система S содержит меньше, чем $n - 3$ независимых уравнения, то дополняя чертеж надлежащим образом подобранными вспомогательными прямыми $\omega_{n+1} = 0$, $\omega_{n+2} = 0,\ldots$, $\omega_{n+m} = 0$, вводим новые узловые точки так, чтобы общее число независимых уравнений, порожденных различными узловыми точками, стало бы равно $n + m - 3$. Получившийся чертеж и будет планом отношений угловых скоростей строящегося механизма. Пользуясь планом отношений угловых скоростей, следует далее построить планы угловых скоростей механизмов, указанных в пункте 8; строя затем сами эти механизмы и соединяя их одноименные звенья, мы и получим искомый механизм.

В заключение отметим, что, как легко видеть, изложенные выше рассуждения сравнительно просто переносятся на механизмы с более чем тремя степенями свободы. Использование предыдущих соображений, однако, в последнем случае усложняется необходимостью иметь дело с пространственным чертежом.

Московский государственный университет
им. М. В. Ломоносова
Московское высшее техническое училище
им. Н. Э. Баумана

Поступило
28 I 1945

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

[1] М. Крейнес и М. Розовский, ДАН, XLVII, № 6 (1945).

Доклады Академии Наук СССР
1945. Том XLVIII, № 3

АЭРОДИНАМИКА

С. З. БЕЛЕНЬКИЙ

О КОНДЕНСАЦИОННЫХ СКАЧКАХ

(Представлено академиком С. И. Вавиловым 17 VIII 1944)

Известно, что за узким сечением сопел Лаваля образуются скачки уплотнения. Наличие таких скачков приводит к неравномерности потока, выходящего из сопла, что сильно затрудняет аэродинамические исследования.

До последнего времени существовало представление, что основной причиной этих скачков является разрушение сверхзвукового потока вследствие недостаточно плавного профилирования стенок сопла вблизи узкого сечения и, таким образом, природа возникающих скачков тождественна с римановскими ударными волнами, исследованными подробно Ранкиным и Гюгонио (1).

Однако экспериментальные работы Визельсбергера и его сотрудников (2) (главным образом Германа) установили связь скачков уплотнения в соплах Лаваля с влажностью засасываемого в сопло воздуха.

В частности, было установлено, что при высушивании поступающего в сопло воздуха скачки уплотнения исчезали.

Отсюда у авторов возникла естественная мысль связать скачки в расширяющейся части сопел Лаваля с внезапной конденсацией содержащихся в воздухе водяных паров. Явление внезапной конденсации водяных паров имеет фундаментальное значение не только при обтекании сопел Лаваля, но и для аэродинамики больших скоростей в целом.

Это явление следует учитывать и при обтекании тел потоком с большой дозвуковой скоростью.

В настоящей заметке мы не будем касаться условий, при которых может начаться конденсация, откладывая это для другого сообщения*.

В согласии с экспериментом примем, что в сопле образуется резкая граница, отделяющая воздух, содержащий несконденсированные водяные пары, от воздуха, содержащего сконденсированные водяные пары, которая и воспринимается, как «скачок».

Пусть до скачка конденсации плотность, скорость, давление и тепловая функция для воздуха равны соответственно ρ_1, v_1, p_1 и i_1, а после скачка те же величины равны ρ_2, v_2, p_2 и i_2. Как до, так и после скачка конденсации течение газа является адиабатическим. Изменением массы газа при конденсации можно пренебречь, так как водяные пары составляют лишь небольшую долю от общей массы газа.

* Вопросу об условиях возникновения конденсации в соплах Лаваля посвящена работа Осватича (3), дискуссию которой мы также откладываем.

Главный эффект, который следует учесть,— это выделение скрытой теплоты парообразования (и, частично, также выделение скрытой теплоты плавления, так как при низких температурах за узким сечением сопла Лаваля могут образоваться и частицы льда). Выделение скрытой теплоты приводит к изменению баланса энергии.

Мы рассмотрим одномерное течение, т. е. «прямой конденсационный скачок» в соответствии с представлениями, развитыми Германом ([2]).

Основные уравнения газовой динамики будут иметь для нашего случая следующий вид:

Уравнение непрерывности $\rho_1 v_1 = \rho_2 v_2$; (1)

Уравнение сохранения движения $\rho_1 v_1 (v_1 - v_2) = p_2 - p_1$; (2)

Уравнение сохранения энергии $i_1 + {}^1/_2 v_1^2 = i_2 + {}^1/_2 v_2^2 - \delta i_0$; (3)

$$\delta i_0 = \alpha r. \tag{4}$$

Здесь α — отношение количества сконденсировавших в скачке водяных паров к общему количеству газа (воздуха и водяных паров), r — скрытая теплота, выделяющаяся при конденсации.

Пользуясь уравнением состояния в форме $i = \frac{k}{k-1}\frac{p}{\rho}$, где $k = \frac{c_p}{c_v}$, из уравнений (1), (2) и (3) можно исключить p и ρ и получить следующее соотношение, связывающее скорости до и после скачка:

$$v_2^2 v_1 - v_2 v_1^2 - v_2 a_1^{*2} + v_1 a_2^{*2} = 0. \tag{5}$$

Здесь a_1^* и a_2^* — «критические скорости» до и после скачка. Критическая скорость связана простым соотношением с «полной тепловой функцией» i_0, где $i_0 = i + {}^1/_2 v^2$.

$$a^{*2} = 2\frac{k-1}{k+1} i_0. \tag{6}$$

В случае обычного римановского скачка критическая скорость в скачке не меняется, так как сохраняется i_0. В нашем случае, вследствие изменения i_0, изменится также и критическая скорость. Для дальнейшего исследования представляется удобным измерять скорость в единицах $\lambda_1 = v_1/a_1^*$ и $\lambda_2 = v_2/a_2^*$. В этих единицах область дозвуковых скоростей соответствует $\lambda < 1$, а область сверхзвуковых скоростей $\lambda > 1$.

Уравнение (5) тогда запишется в следующем виде:

$$\lambda_2^2 - \lambda_2 \gamma \frac{\lambda_1^2 + 1}{\lambda_1} + 1 = 0, \qquad \gamma = a_1^*/a_2^*. \tag{7}$$

В скачке происходит изменение полной тепловой функции, равное δi_0. Пусть $\beta = \delta i_0/i_0$. Величина γ, как легко видеть (см. уравнение (6)), просто выражается через β:

$$\gamma^2 = 1/(1+\beta). \tag{8}$$

Укажем, что в развиваемой теории величина α (см. уравнение (4)) (а следовательно, также β и γ) остается неопределенным параметром, значение которого можно получить или из более точной теории, исследующей структуру скачка конденсации, или из данных эксперимента.

Решая квадратное уравнение (7) относительно λ_2, получим:

$$\lambda_2 = \frac{1}{2}\frac{\gamma(\lambda_1^2+1)}{\lambda_1} \pm \sqrt{\frac{\gamma^2(\lambda_1^2+1)^2}{4\lambda_1^2} - 1}. \tag{9}$$

Отсюда сразу видно, что величина γ не может быть меньше некоторого определенного значения для заданного λ_1

$$\gamma_{min} = 2\lambda_1/(1+\lambda_1^2), \qquad (10)$$

а β не может быть больше

$$\beta_{max} = \frac{\delta i_0}{i_0} = \left(\frac{\lambda_1^2 - 1}{2\lambda_1}\right)^2. \qquad (11)$$

Вблизи узкого сечения сопла Лаваля эта величина невелика. Например, при $\lambda_1 \cong 1{,}2$ или числе Маха, равном 1,2 *, $\beta_{max} = 0{,}0336$.

Рассмотрим, пользуясь уравнением (9), возможные типы конденсационных скачков.

1. Допустим, что $\lambda_1 > 1$, и выберем знак плюс перед корнем. Скорость λ_2 после скачка будет меняться от $\lambda_2 = \lambda_1$ при $\gamma = 1$ до $\lambda_2 = 1$ при $\gamma = \gamma_{min}$. Таким образом, скорость после скачка все время остается сверхзвуковой (существенное отличие от обычного скачка уплотнения), убывая с возрастанием α. По формуле (2) можно определить увеличение давления в скачке, характеризующее интенсивность скачка. Максимальная интенсивность достигается при $\gamma = \gamma_{min}$ (или $\beta = \beta_{max}$) и равна, как нетрудно видеть, половине интенсивности прямого римановского скачка уплотнения, возникающего при скорости, равной λ_1. Минимальная интенсивность скачка равна нулю и соответствует отсутствию конденсации ($\alpha = \beta = 0$, $\gamma = 1$). Очевидно, что скачки именно такого типа и наблюдаются обычно за узким сечением сопел Лаваля.

2. Пусть $\lambda_1 > 1$ и выбирается знак минус перед корнем. Скорость λ_2 после конденсационного скачка будет меняться от $\lambda_2 = 1/\lambda_1$ при $\gamma = 1$ до $\lambda_2 = 1$ при $\gamma = \gamma_{min}$, оставаясь все время дозвуковой. Скорость λ_2 возрастает с возрастанием α и, следовательно, интенсивность скачка падает при увеличении α. Максимальная интенсивность достигается при $\gamma = 1$ и равна интенсивности римановского скачка уплотнения для скорости λ_1, а минимальная интенсивность оказывается равной при $\beta = \beta_{max}$ половине максимальной. Рассматриваемый случай, повидимому, соответствует совпадению в одном месте двух скачков: римановского скачка уплотнения и скачка конденсации.

Так как эти скачки обусловлены различными физическими причинами, то их совпадение представляется мало вероятным, хотя и допускается с точки зрения общих законов сохранения (1), (2), (3). Тем не менее эти скачки, повидимому, осуществляются в известных условиях.

Наблюдавшиеся в опытах Германа ([2]) скачки уплотнения не могут принадлежать к рассматриваемому типу хотя бы потому, что они исчезают при высушивании сопла, в то время как рассматриваемые скачки достигают максимальной интенсивности как раз в отсутствие конденсации.

3. Допустим, что $\lambda_1 < 1$, и выберем знак минус перед корнем. Тогда скорость λ_2 будет меняться от $\lambda_2 = \lambda_1$ при $\gamma = 1$ до $\lambda_2 = 1$ при $\gamma = \gamma_{min}$, оставаясь все время дозвуковой. Скорость λ_2 все время превышает скорость λ_1 перед скачком.

4. Допустим, что $\lambda_1 < 1$, и выбирается знак плюс перед корнем. Скорость λ_1 будет меняться от $\lambda_2 = 1/\lambda_1$ при $\gamma = 1$ до $\lambda_2 = 1$ при

---

* λ и число Маха Ма связаны соотношением: $\lambda^2 = \dfrac{k+1}{2} \dfrac{\text{Ма}^2}{1 + \dfrac{k-1}{2}\text{Ма}^2}$

При Ма, стремящемся к бесконечности, $\lambda^2 = \dfrac{k+1}{k-1}$.

$\gamma = \gamma_{min}$, оставаясь сверхзвуковой. В данном случае мы имеем снова, повидимому, совпадение римановского скачка разрежения со скачком конденсации. Как известно, римановские скачки в дозвуковой области (скачки разрежения) осуществляться не могут, так как приводят к уменьшению энтропии. Однако конденсационные скачки разрежения третьего и четвертого типов нуждаются еще в особом рассмотрении с этой точки зрения.

До сих пор скачки разрежения еще не наблюдались, возможно, потому, что их появление в сопле требует весьма большой влажности поступающего воздуха.

Физический институт им. П. Н. Лебедева
Академии Наук СССР

Поступило
17 VIII 1944

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

[1] Riemann-Weber, Partielle Differentialgleichung, 5 Aufl., II, S. 507, 1900; H. Hugoniot, J. de l'école polytechn., Paris, 57 (1889). [2] R. Hermann, Luftfahrtforschung, No. 6, 201 (1942). [3] Kl. Oswatitsch, ZAMM, H. 1, **22** (1942)

Доклады Академии Наук СССР
1945. Том XLVIII, № 3

ФИЗИКА

Г. Г. ЛЕММЛЕЙН

ПРОЦЕСС ГЕОМЕТРИЧЕСКОГО ОТБОРА В РАСТУЩЕМ АГРЕГАТЕ КРИСТАЛЛОВ

(Представлено академиком А. Н. Колмогоровым 5 IV 1945)

Известно, что одновременный рост множества кристаллов, беспорядочно ориентированных на какой-либо поверхности, приводит в конечном счете к образованию текстурованного-волокнистого, шестоватого, столбчатого или лучистого агрегата. Это явление широко известно в минералогии, а также в металлургии, где столбчатая крупнокристаллическая корка, идущая от стенок изложницы в глубь отливки, получила название «транскристаллизационной зоны».

Образование такой упорядоченной текстуры роста обусловлено анизотропией скоростей роста кристаллических зерен. Из числа случайно ориентированных, возникших на некоторой поверхности кристаллов в текстурном агрегате сохраняются только зерна, направления наибольшей скорости роста которых совпадают или мало отклоняются от нормали к поверхности начальной кристаллизации (базисной поверхности). Рост остальных зерен будет постепенно тормозиться этими более удачно ориентированными зернами и тем скорее, чем больше угол отклонения вектора наибольшей скорости роста кристалла от нормали к базисной поверхности.

На этом чисто «геометрическом принципе отбора» [1–3] основаны многие методы искусственного получения монокристаллов. С другой стороны, отчетливое представление о сущности геометрического отбора кристаллов, мне кажется, может сыграть известную роль и при борьбе с образованием крупнокристаллической транскристаллизационной зоны в металлических отливках.

Образование текстур роста нередко приписывалось влиянию разнообразных внешних условий роста, в частности ориентирующему влиянию направления теплоотдачи. Однако рассмотрение процесса роста агрегата кристаллов в любых условиях, в первую очередь, как процесса заполнения геометрического пространства, показывает, что этот основной, чисто геометрический элемент процесса роста полностью определяет все явление образования текстуры роста. Внешние условия могут оказывать только косвенное положительное или отрицательное влияние на это явление, изменяя скорости роста граней и форму растущих кристаллов.

Представляло известный интерес подробнее проанализировать картину процесса убывания числа растущих зерен и упорядочения текстуры по мере удаления от начала роста.

Такое наблюдение и подсчет были проделаны на препаратах текстуры роста, полученных кристаллизацией переохлажденного расплава тимола ($C_{10}H_{14}O$ — температура плавления 44°C) в тонком клиновом слое между двумя стеклами. Кристаллизация возбуждалась быстрым прочерчиванием вдоль тонкого края препарата иглой, зараженной порош-

ком тимола. В этих условиях растут слегка дендритные ромбоэдрические кристаллы, обычно уплощенные по одной из граней ромбоэдра $(10\bar{1}1)$.

В препарате длиной 45 мм в трех опытах было получено 105, 127 и 140 начальных центров кристаллизации. В поляризованном свете под микроскопом измерялась длина каждого зерна. По данным измерений была построена диаграмма (рис. 1), где по абсциссе откладывалось

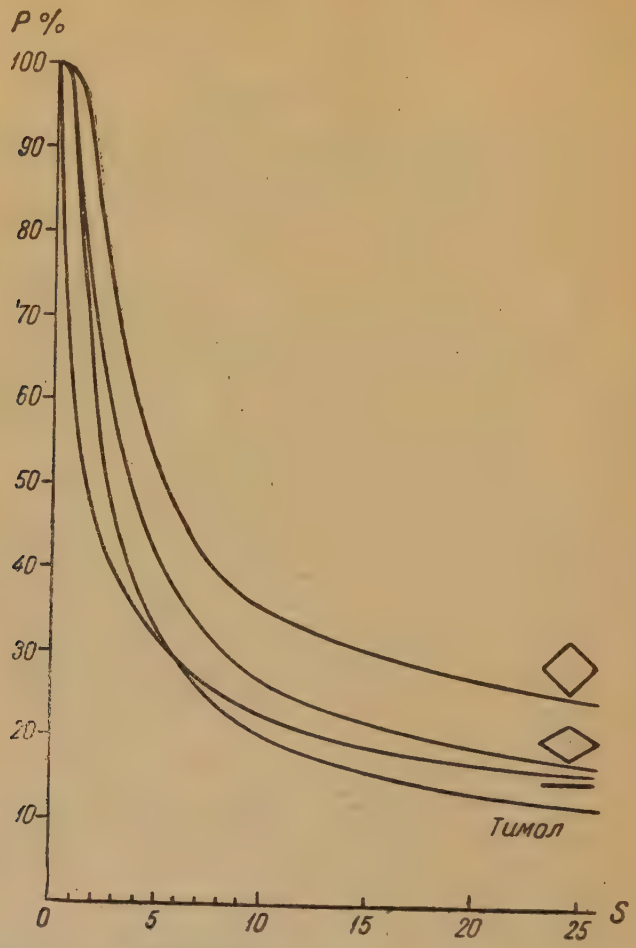


Рис. 1. График убывания числа растущих «кристаллов». По ординате отложен процент P «выживших» кристаллов, по абсциссе — расстояние S от начала роста (единица измерения — расстояние между соседними зародышами)

расстояние от начала роста (за единицу принято среднее расстояние между соседними зародышами на базисной линии), а по ординате — соответствующий процент кристаллов, доросших до данного слоя. Во всех трех случаях получилась характерная кривая, которая, начинаясь на 100% у нулевой ординаты, на расстоянии 1 единицы круто загибается вниз, что соответствует стадии дорастания зерен друг до друга, образованию сомкнутого фронта роста и началу геометрической конкуренции между ними. Уже на расстоянии 3 единиц кривая падает до значения около 50%, далее она быстро становится более пологой и при 10 единицах достигает 20%, затем все более полого падает, приближаясь к нулю или к некоторому минимуму, определяемому процентом кристаллов, ориентированных направлением наибольшей скорости рос-

та нормально к краю препарата (базисной линии). В пределе, очевидно, в границах пространства, где происходит рост, должен остаться один растущий кристалл.

Столь быстрое уменьшение числа зерен, участвующих в росте, вполне объясняет происхождение описываемой в металлургии тонкой периферической мелкозернистой зоны, предшествующей столбчатой транскристаллизационной зоне и, совершенно очевидно, составляющей с нею одно непрерывное целое.

Чтобы вскрыть статистический характер процесса геометрического отбора, я от опытной уплощенной модели образования текстуры роста обратился к рассмотрению строго двумерного графического образа такого процесса. Двумерный образ, весьма близко повторяющий условия описанного опыта кристаллизации в клиновом слое, может служить, конечно, только первым, но вполне определенным приближением к пространственной картине борьбы между растущими кристаллами.

Для упрощения графических построений было принято, что начальные точки роста располагаются на базисной прямой линии равномерно, и, следовательно, расстояния между этими точками должны соответствовать среднему расстоянию между кристаллическими зародышами в опыте.

Случайная ориентировка направления наибольшей скорости роста относительно базисной линии задавались по таблице случайных чисел с точностью до 1°. Принималось, что рост всех «кристаллов» начинался одновременно, все кристаллы имели одну одинаковую простую форму и равные скорости роста по одноименным направлениям.

На чертеже большого масштаба графическим путем находились границы разрастания каждого кристалла. Как известно, синусы углов между контактирующими гранями двух соседних кристаллов и геометрической границей между ними пропорциональны скоростям роста этих граней, и в случае равных скоростей роста контактирующих граней граница между кристаллами является бисектрисой угла между этими гранями. Были изображены две картины разрастания по сотне кристаллов на каждой до расстояния, равного 25 единицам *.

На одном чертеже был изображен рост 100 «кристаллов», имевших форму ромба, с острым углом, равным 60°. Кривая убывания числа «выживших» в этой «борьбе за пространство» изображена на рис. 1 и вполне аналогична описанной выше кривой, полученной для опытов с тимолом. Только убывание числа зерен тимола в начальных стадиях шло немного быстрее. Это отступление, повидимому, может быть объяснено тем, что в начальные стадии роста размеры зерен были соизмеримы с толщиной слоя расплава и здесь еще сказывается реальная трехмерность слоя.

На другом чертеже был изображен рост также 100 кристаллов в той же ориентировке, но имевших форму квадратов. Это изменение формы (увеличение угла при вершине и удвоение числа конкурирующих направлений) сказалось на известном замедлении убывания числа «выживающих» кристаллов (рис. 1).

Очевидно, что с возрастанием угла между «гранями» растущей головки и увеличением числа равных направлений кривая убывания будет становиться все более пологой. Особенно заметно это скажется на начальной стадии загиба кривой, который будет начинаться все далее от начала роста, т. е. подавление первых кристаллов в уже сомкнутом фронте роста, как результат геометрической борьбы, начнется позднее. В предельном случае, когда все направления роста кристалла равны, в результате геометрической борьбы образуется параллельно-волокнистый агрегат с числом волокон, равным числу исходных точек роста.

Другой предельный случай — уменьшение угла между гранями го-

* Весьма кропотливое графическое построение выполнила М. К. Житкова, без помощи которой вряд ли могла бы быть сделана эта работа.

ловки — может быть рассмотрен на построении, где «кристаллы» заменены «иглами» — векторами наибольшей скорости роста. Очевидно, кривая убывания для такого случая, изображенная также на рис. 1, примет минимальные значения в строго двумерном образе геометрического отбора. В частности, здесь отсутствует стадия дорастания кристаллов друг до друга и начальная стадия загиба кривой; кривая сразу круто падает с самого начала процесса роста.

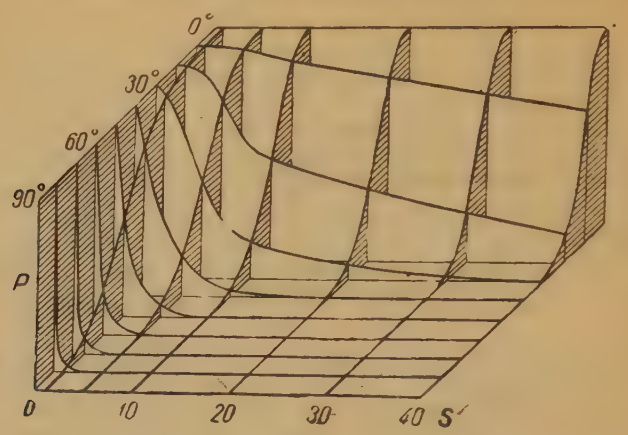


Рис. 2. Зависимость убывания числа растущих игольчатых кристаллов от угла наклона к базисной линии. По первой оси отложен угол отклонения от нормали к базисной линии, по второй оси — расстояние S от начала роста, по третьей оси — процент P «выживших» кристаллов

Простота графического построения картины роста «игл» позволила увеличить число их до 400 и продолжить рост до расстояния в 40 единиц. При таком большем числе растущих «кристаллов» можно было проследить распределение частот кристаллов разной ориентировки на разных расстояниях от начала роста. На рис. 2 представлен трехмерный график такого распределения частот встречаемости в зависимости от угла наклона к базисной линии и от расстояния от начала роста. Как и следовало ожидать, уже на расстоянии 20 единиц почти совершенно не остается игл, отклоненных от нормали больше, чем на 40°. На расстоянии 40 единиц от начала роста уже остаются только иглы, отклоненные не более, чем на 30°. Дальше, очевидно, текстура будет все быстрее приобретать бо́льшую и бо́льшую упорядоченность.

Этот предельный, реально неосуществимый случай, дает все же весьма наглядное статистико-геометрическое представление о деталях процесса геометрического отбора, протекающего в действительности.

Институт кристаллографии
Академии Наук СССР

Поступило
20 XII 1944

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

[1] R. Gross u. H. Möller, Z. Phys., **19**, 375 (1923). [2] А. В. Шубников и Г. Г. Леммлейн, ДАН, А, **4**, 61 (1927); Z. Krist., **65**, 297 (1927). [3] А. В Шубников, Тр. Лабор. крист., **2**, 119 (1940).

Доклады Академии Наук СССР
1945. Том XLVIII, № 3

ФИЗИКА

Я. Н. ФЕЛЬД

ГРАНИЧНО-НАЧАЛЬНЫЕ ЗАДАЧИ ЭЛЕКТРОДИНАМИКИ

(Представлено академиком Н. Д. Папалекси 4 IX 1944)

В настоящей работе мы займемся формулировкой и решением гранично-начальных задач электродинамики для любых неустановившихся колебаний.

Будем называть первой Г.-Н.З.Э. (Г.-Н.З.Э. — гранично-начальная задача электродинамики) задачу, при которой требуется определить для момента времени $\tau = t^*$ электромагнитное поле в пространстве v, ограниченном замкнутой геометрической поверхностью s, по следующим данным:

1. На поверхности s задана тангенциальная составляющая электрического вектора для $0 \leqslant \tau \leqslant t$.

2. Внутри v заданы значения векторов поля для $\tau = 0$

$$\vec{E} = \vec{E}_0, \quad \vec{H} = \vec{H}_0 \text{ при } \tau = 0. \tag{1}$$

3. Если внутри v имеются источники поля, то они считаются известными.

4. Если пространство v простирается на бесконечность, то необходимо потребовать, чтобы все источники находились на конечном расстоянии.

Аналогично формулируется также вторая Г.-Н.З.Э. с той только разницей, что в пункте 1 фигурирует не электрический, а магнитный вектор.

И, наконец, если на части s_1 поверхности s задана тангенциальная составляющая электрического, а на остальной части s_2 — магнитного вектора, то эту задачу мы будем называть смешанной Г.-Н. З. Э. Все эти задачи на основании теоремы единственности [1] имеют однозначное решение.

Для решения Г.-Н. З. Э. мы используем обобщенную лемму Лоренца, полученную нами ранее [2], предварительно распространив ее на случай начальных условий типа (1). Применяя тот же метод, что и в [2], получим, учитывая более общие начальные условия (1)**, следующее выражение для обобщенной леммы Лоренца

$$\int_0^t \left\{ \operatorname{div}\left[\vec{E}(t-\tau)\,\vec{H}_1(\tau)\right] - \operatorname{div}\left[\vec{E}_1(\tau)\,\vec{H}(t-\tau)\right] \right\} d\tau =$$

$$= \frac{\mu}{c}\left\{\vec{H}_0\vec{H}_1(t) - \vec{H}_{1,0}\,\vec{H}(t)\right\} + \frac{\varepsilon}{c}\left\{\vec{E}_{1,0}\vec{E}(t) - \vec{E}_0\vec{E}_1(t)\right\}. \tag{2}$$

---

* τ — текущая координата времени, t — произвольная фиксированная координата времени.

** В [2] имели место нулевые начальные условия.

Здесь $\vec{E}$, $\vec{H}$ и $\vec{E}_1$, $\vec{H}_1$ — два произвольных поля, удовлетворяющих уравнениям Максвелла, а $\vec{E}_0$, $\vec{H}_0$ и $\vec{E}_{1,0}$, $\vec{H}_{1,0}$ — их значения для $\tau = 0$.

Переходя к решению первой Г.-Н. З. Э., будем считать, что внутри v имеются точечные источники — электрические диполи с моментами $\vec{p}_n$, находящиеся в точках q_n $(n = 1, 2, \ldots, k)$. Проводимость σ внутри v примем равной нулю.

Используем лемму (2), подразумевая под $\vec{E}$, $\vec{H}$ искомое поле, а под $\vec{E}_1$, $\vec{H}_1$ — поле вспомогательного электрического диполя, помещенного в точку наблюдения q'. Поле вспомогательного электрического диполя удовлетворяет условиям:

I. Тангенциальная составляющая вектора $\vec{E}_1$ обращается в нуль у поверхности s.

II. $\vec{E}_{1,0} = \vec{H}_{1,0} = 0$ внутри v.

III. Момент вспомогательного диполя $\vec{p}$ постоянен по направлению и равен

$$p(\tau) = \begin{cases} 0 & \text{при } \tau < 0, \\ \dfrac{1}{\lambda}\left(\tau - \dfrac{1}{2\pi}\sin\dfrac{2\pi}{\lambda}\tau\right) & \text{при } 0 \leqslant \tau \leqslant \lambda, \\ 1 & \text{при } \tau > \lambda. \end{cases} \tag{3}$$

Здесь λ — произвольный положительный параметр. Функция $p(\tau)$ непрерывна до второй производной включительно. Учитывая все это, проинтегрируем равенство (2) по объему v, исключив из него предварительно при помощи бесконечно малых сфер точки нахождения источников q_n и вспомогательного диполя q'. После сравнительно несложных, но длинных преобразований найдем

$$\left\{\int_0^t \vec{p}'(\tau)\,\vec{E}(t-\tau)\,d\tau - \frac{1}{3}\vec{p}(t)\,\vec{E}_0\right\}_{q'} -$$

$$- \sum_{n=1}^{k}\left\{\int_0^t \vec{p}_n'(\tau)\,\vec{E}_1(t-\tau)\,d\tau + \frac{1}{3}\vec{p}_n(0)\,\vec{E}_1(t)\right\}_{q_n} =$$

$$= \frac{1}{4\pi}\int_{(v)}\left\{\mu\vec{H}_0\vec{H}_1(t) - \varepsilon\vec{E}_0\vec{E}_1(t)\right\}dv - \frac{c}{4\pi}\int_0^t d\tau\int_{(s)}\left[\vec{E}(t-\tau)\,\vec{H}_1(\tau)\right]\overrightarrow{ds}. \tag{4}$$

Входящий сюда (и в последующие формулы (6), (7)) объемный интеграл следует понимать в смысле «главного значения» Коши. Индексы q' и q_n, стоящие у фигурных скобок в левой части (4), указывают, что значения величин, стоящих в этих скобках, берутся соответственно в точках q' и q_n. Векторы $\vec{p}$, $\vec{p}'(\tau)$, $\vec{E}_1$, $\vec{H}_1$ явно или неявно зависят от произвольного положительного параметра λ (см. формулу (3)). Поэтому, используя легко доказываемые при помощи (3) равенства

$$\left.\begin{aligned} E_p(t) &= \lim_{\lambda\to 0}\int_0^t \vec{p}'(\tau)\,\vec{E}(t-\tau)\,d\tau, \\ \lim_{\lambda\to 0} p(t) &= 1 \text{ при } t > 0 \end{aligned}\right\} \tag{5}$$

и переходя в уравнении (4) к пределу при $\lambda \to 0$, найдем

$$E_p(t,\ q') = \frac{1}{3} E_p(0,\ q') - \lim_{\lambda \to 0} \frac{c}{4\pi} \int_0^t d\tau \int_{(s)} \left[\vec{E}(t-\tau)\, \vec{H}_1(\tau) \right] \vec{ds} +$$

$$+ \lim_{\lambda \to 0} \left[\frac{1}{4\pi} \int_{(v)} \left\{ \mu \vec{H}_0 \vec{H}_1(t) - \varepsilon \vec{E}_0 \vec{E}_1(t) \right\} dv + \right.$$

$$\left. + \sum_{n=1}^{k} \left\{ \int_0^t \vec{p}_n'(\tau)\, \vec{E}_1(t-\tau)\, d\tau + \frac{1}{3} \vec{p}_n(0)\, \vec{E}_1(t) \right\}_{q_n} \right]. \qquad (6)$$

Здесь $E_p(t,\ q')$ означает проекцию искомого вектора $\vec{E}$ на направление момента $\vec{p}$ вспомогательного диполя, причем, в отличие от остального изложения, явно отмечена зависимость E_p не только от времени, но и от точки наблюдения q'.

Заменив вспомогательный электрический диполь магнитным с моментом $\vec{m}$ и векторами поля $\vec{E}_2$, $\vec{H}_2$, удовлетворяющими тем же условиям I, II, III, что и в случае электрического диполя, найдем аналогично предыдущему

$$H_m(t,\ q') = \frac{1}{3} H_m(0,\ q') + \lim_{\lambda \to 0} \frac{c}{4\pi} \int_0^t d\tau \int_{(s)} \left[\vec{E}(t-\tau)\, \vec{H}_2(\tau) \right] \vec{ds} -$$

$$- \lim_{\lambda \to 0} \left[\frac{1}{4\pi} \int_{(v)} \left\{ \mu \vec{H}_0 \vec{H}_2(t) - \varepsilon \vec{E}_0 \vec{E}_2(t) \right\} dv + \right.$$

$$\left. + \sum_{n=1}^{k} \left\{ \int_0^t \vec{p}_n'(\tau)\, \vec{E}_2(t-\tau)\, d\tau + \frac{1}{3} \vec{p}_n(0)\, \vec{E}_2(t) \right\}_{q_n} \right]. \qquad (7)$$

Так как местонахождение вспомогательных диполей и направление их моментов произвольны, то формулы (6) и (7) решают нашу задачу, определяя поле по заданным граничным и начальным условиям. Пределы функции (3) и ее производной при $\lambda \to 0$ представляют собой «единичный толчок» и импульсную функцию Дирака. Поэтому, понимая под векторами $\vec{E}_1$, $\vec{H}_1$ и $\vec{E}_2$, $\vec{H}_2$ поля, созданные диполями, моменты которых изменяются по закону «единичного толчка», можно было бы формально написать формулы (6), (7) без знаков lim.

Метод решения второй и смешанной Г.-Н. З. Э. остается тем же с той только разницей, что в случае второй задачи в граничном условии I вектор $\vec{E}_1$ заменяется вектором $\vec{H}_1$.

В случае смешанной задачи условие I формулируется так:

I. На части s_1 поверхности s равна нулю тангенциальная составляющая $\vec{E}_1$, а на остальной части s_2 — тангенциальная составляющая $\vec{H}_1$.

Различие в граничных условиях I приводит к само собой понятным (см. лемму (2)) видоизменениям поверхностного интеграла в формулах (6), (7).

В остальном они остаются без изменений.

В заключение отметим, что формулы (6), (7) выведены при условии непрерывности моментов источников $p_n(\tau)$ и их производных $p_n'(\tau)$, $p_n''(\tau)$. Однако, рассматривая всякое скачкообразное изменение при помощи формул, аналогичных формуле (3), как предел непрерывного, получим возможность использовать выражения (6), (7) для рассмотрения любых мгновенных включений и выключений источников.

Поступило
1 VI 1944

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

[1] И. Е. Тамм, Основы теории электричества, 1, ч. 2, гл. VII, М.—Л., 1934.
[2] Я. Н. Фельд, ДАН, XLI, № 7, 294 (1943).

Доклады Академии Наук СССР
1945. Том XLVIII, № 3

ФИЗИКА

Б. ЯВОРСКИЙ

СТУПЕНЧАТОЕ ВОЗБУЖДЕНИЕ РТУТИ ЭЛЕКТРОННЫМ УДАРОМ

(Представлено академиком С. И. Вавиловым 3 VIII 1944)

Согласно Дираку (1), поперечное сечение для возбуждения атома электронным ударом из состояния n в состояние p дается выражением

$$Q_{np} = \frac{8\pi^3 m^2}{h^4} \frac{k}{k'} \sum_{m_s, m_s'} \left| (n,\ k,\ m_s \mid V \mid p,\ k';\ m_s') \right|^2. \qquad (1)$$

Здесь $k/2\pi m$ и $k'/2\pi m$ — скорости электрона до и после удара; V — энергия взаимодействия; m_s и m_s' — спины падающего и рассеянного электронов, квантованные вдоль некоторой оси слабого поля.

Эффективное поперечное сечение для всех углов рассеяния определяется следующим образом:

$$Q = \int_0^{\pi} Q_{np} \sin\delta \, d\delta, \qquad (2)$$

где δ — угол рассеяния.

Правильная форма волновых функций сложной системы при соударении электрона с атомом получается, если взять линейные комбинации атомных волновых функций и плоских волн, представляющих падающие и рассеянные электроны. Это дает:

$$\Phi(r_1,\ r_2,\ r_3) = e^{ik\mathbf{n}_0\mathbf{r}_3} \Psi(r_1,\ r_2) + e^{ik\mathbf{n}_0\mathbf{r}_1} \Psi(r_2,\ r_3) + e^{ik\mathbf{n}_0\mathbf{r}_2} \Psi(r_3,\ r_1). \qquad (3)$$

Такая форма волновой функции учитывает электронный обмен. Здесь Ψ — атомная волновая функция.

Слэтер (2) показал, что радиальная часть волновой функции электрона может быть задана в виде:

$$R(r) = N r^{n^*-1} e^{-Zr/n^*} \left[1 + \frac{A_1}{rZ} + \frac{A_2}{(rZ)^2} + \ldots \right], \qquad (4)$$

где $(Z/n^*)^2$ — потенциал ионизации в единицах Rh и

$$A_n = -\left(\frac{n^*}{2n}\right) [(n^* - n)\ (n^* - n + 1) - l(l+1)]\ A_{n-1}, \qquad (5)$$

r измеряется в радиусах первой боровской орбиты водорода. Обычно ограничивают ряд членом A_1.

Пенни (3), следуя Слэтеру, вычислил, введя угловые переменные, волновые функции для s-электрона в невозбужденном S-состоянии и для s- и p-электронов в возбужденных P-состояниях:

$$\Psi(s,\ S) = \frac{R_{00}(r)}{\sqrt{4\pi}} = \frac{1{,}51}{\sqrt{4\pi}} r^{0{,}87} e^{-0{,}88r} \left(1 - \frac{0{,}92}{r}\right),$$

$$\Psi'(s,\ P)=\frac{R_{01}(r)}{\sqrt{4\pi}}=\frac{3{,}03}{\sqrt{4\pi}}r^{0{,}69}e^{-1{,}18r}\left(1-\frac{0{,}50}{r}\right),$$

$$\Psi(p,\ P)=R_{11}(r)\,P_1^m(\cos\vartheta)\,e^{im\varphi}=$$

$$=0{,}421\sqrt{\frac{3}{4\pi(1+m)!}}\,r^{0{,}60}e^{-0{,}62r}\left(1+\frac{0{,}83}{r}\right)P_1^m(\cos\vartheta)\,e^{im\varphi}.$$

Волновая функция для s-электрона в возбужденном S-состоянии может быть подсчитана аналогичным образом. Вычисление дает:

$$\Psi'(s,\ S)=\frac{R_{00}'(r)}{\sqrt{4\pi}}=\frac{1{,}50}{\sqrt{4\pi}}r^{-0{,}40}e^{-1{,}67r}\left(1+\frac{0{,}07}{r}\right).$$

Условие антисимметричности полных атомных волновых функций (заключающих спин) удовлетворяется, если взять комбинации этих простых функций. Хаустон ([4]) показал, что S-уровень может быть определен волновой функцией вида:

$$\Psi_S(r_1,\ r_2)=R_{00}(r_1)\,R_{00}(r_2)\,\frac{1}{\sqrt{2}}\,[S_\alpha(1)\,S_\beta(2)-S_\alpha(2)\,S_\beta(1)], \qquad (6)$$

где S_α и S_β —спиновые функции, соответствующие ориентации спина вдоль и против поля. Волновые функции четырех P-уровней предложены им в форме:

$$\Psi_{P_jm}=\sum_{i=1}^{4}a_{im_j}\varphi_{im}, \qquad (7)$$

где m — компонента j вдоль некоторого слабого поля, снимающего вырождение; a_{im_j} — коэффициенты, вычисленные Пенни ([3]) по формулам, предложенным Хаустоном ([4]), для всевозможных значений m_j и ориентаций спинов. Функции φ_{im} определяют случаи пребывания электронов в возможных s- и p-состояниях при различных ориентациях спинов и приведены в работе Хаустона ([4]).

Вычисляя волновую функцию возбужденного S-терма ртути в форме

$$\Psi_S'(r_1,\ r_2)=R_{00}'(r_1)\,R_{00}'(r_2)\,\frac{1}{\sqrt{2}}\,[S_\alpha(1)\,S_\beta(2)-S_\alpha(2)\,S_\beta(1)] \qquad (8)$$

и подставив атомные волновые функции (6), (7) и (8) в выражение (3), получаем полные волновые функции системы в соответствующих состояниях.

Для переходов $(6P-7S)$ матричный элемент имеет вид:

$$(P_j,\ k,\ m_s\,|\,V\,|\,S,\ k_1',\ m_{s'})=$$

$$=\int\left\{\sum_{1,2,3}e^{ik\mathbf{n}_0\mathbf{r}_3}\left(\sum_{i=1}^{4}a_{im_j}\varphi_{im}\right)S_\alpha(3)\right\}V\left\{\sum_{1,2,3}e^{ik'\mathbf{n}_1\mathbf{r}_3}\Psi_S'S^\alpha(3)\right\}dv.$$

Здесь $\sum_{1,2,3}$ означает сумму по перестановкам электронов 1, 2, 3 как указано в выражении (3).

При суммировании по спинам эта матричная компонента дает еще три члена, соответствующие возможным ориентациям спина ударяющего электрона до и после удара:

$$[S_\beta(i);\ S_\beta(i)];\quad [S_\alpha(i);\ S_\beta(i)];\quad [S_\beta(i);\ S_\alpha(i)]\qquad (i=1,\ 2,\ 3).$$

После суммирования по перестановкам электронов и по спинам получается результат:

$$Q_{P_jS_m}=\frac{k'}{k}\left\{|\,a_1(F_m-G_m)^2+a_3g_m|^2+|\,a_2g_{m-1}|^2+|\,a_4g_{m+1}|^2\right\}, \qquad (9)$$

где

$$F_m = 2\pi m \sqrt{2\pi}\, e^2 a_0^2 h^{-2} \int \Psi_{S'}(r_1, r_2)\, V \varphi_{1m}(r_1, r_2)\, e^{i(kn_0 - k'n_1)r_3}\, dv,$$
$$G_m = 2\pi m \sqrt{2\pi}\, e^2 a_0^2 h^{-2} \int \Psi_{S'}(r_2, r_3)\, V \varphi_{1m}(r_1, r_2)\, e^{i(kn_0 r_3 - k'n_1 r_1)}\, dv, \quad (10)$$
$$g_m = 2\pi m \sqrt{2\pi}\, e^2 a_0^2 h^{-2} \int \Psi_{S'}(r_2, r_3)\, V \varphi_{3m}(r_1, r_2)\, e^{i(kn_0 r_3 - k'n_1 r_1)}\, dv,$$

$$V = \frac{2}{r_3} - \frac{1}{r_{13}} - \frac{1}{r_{23}},$$

g_{m-1} и g_{m+1} записываются аналогично g_m, но содержат φ_{2m} и φ_{4m}.

Интегрирование по углам проведено по методу, указанному Месси и Мором ([5]), аналогично случаю ступенчатого возбуждения гелия ([6]).

При интегрировании по r встречаются интегралы того же типа, что и в случае гелия:

$$\int_0^\infty \int_0^\infty r_1^2 e^{-\beta r_1} \left(1 + \frac{\gamma}{r_1}\right) J_{3/2}(kr_1)\, \chi_\nu(r_1, r_2)\, r_2^5 e^{-\omega r_2} \left(1 + \frac{\lambda}{r_2}\right) J_{1/2}(k'r^2)\, dr_1 dr_2,$$

где

$$\chi_\nu(r_1, r_2) = \begin{cases} r_1^\nu / r_2^{\nu+1} & \text{при } r_1 < r_2 \\ r_2^\nu / r_1^{\nu+1} & \text{при } r_1 > r_2. \end{cases}$$

Для небольших скоростей ударяющих электронов можно при вычислении использовать асимптотическое представление функций Бесселя.

Окончательно поперечное сечение имеет вид:

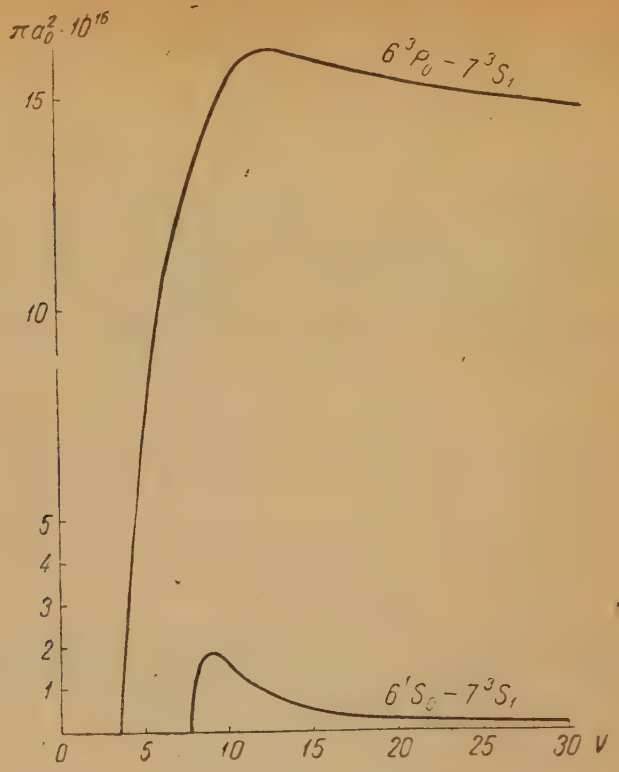
$$Q_{P_1 S} = \sum_{m=-l}^{l} \int Q_{P_1 S_m} \sin\delta\, d\delta. \quad (11)$$

Удерживая в рядах, которыми выражается приближенное решение задачи, те члены, которые дают убывание на 2 порядка, можно получить результат для некоторых уровней.

Надежные экспериментальные данные об эффективном сечении прямого возбуждения уровня 7^3S_1 имеются в работе Ганле и Шафернихта ([7]). Они дают значение эффективного сечения в максимуме 1,2 см^2/см^3 (1 мм Hg, 0° C). Из приведенных выше вычислений получается значение эффективного поперечника в максимуме 1,80 в этих единицах. Согласуется также с экспериментом резкий максимум в форме кривой, соответствующей переходу с сингулентного уровня на триплетный.

Прямых измерений эффективного сечения для ступенчатого возбуждения нет. Оценка большой роли ступенчатых процессов в газовом разряде и косвенное определение вероятности ступенчатого возбуждения проведено Фабрикантом ([8]) при исследовании интенсивности спектральных линий в разряде. Полученное им значение для эффективного сечения в максимуме 12,5 см^2/см^3 (1 мм Hg, 0° C) указывает, что поперечное сечение для ступенчатых процессов на порядок превосходит поперечное сечение для прямого возбуждения. Проведенные вычисления подтверждают это: для значения эффективного сечения в максимуме получается 12,16. Находится в согласии с опытом тот факт, что при возбуждении триплета из исходного триплетного состояния изменяется форма кривой функции возбуждения: кривая получается такая, как в сингулетном случае.

Я благодарен проф. В. А. Фабриканту за ознакомление с результатами его исследований и помощь в выполнении настоящей работы.



Вычисленные поперечные сечения для возбуждения уровня 7^3S_1 ртути

Московский энергетический институт
им. В. М. Молотова

Поступило
3 VIII 1944

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

[1] P. A. M. Dirac, Quantum Mechanics, 1929, p. 179. [2] J. C. Slater, Phys. Rev., **32**, 349 (1928); **57**, 36 (1930). [3] W. G. Penney, Phys. Rev., **39**, 467 (1932). [4] W. V. Houston, Phys. Rev., **33**, 297 (1929). [5] H. S. W. Massey and C. B. O. Mohr, Proc. Roy. Soc., A, **132**, 605 (1931). [6] Б. М. Яворский, ДАН, XLIII, 155 (1944). [7] W. Hanle, W. Schaffernicht, Ann. Physik, **6**, 905 (1930). [8] В. Фабрикант, Ф. Бутаева и И. Цирг, ЖЭТФ, **8**, 35 (1938).

Доклады Академии Наук СССР
1945. Том XLVIII, № 3

ТЕХНИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

О. Б. ФАЛЬКОВА

СПЕКТРАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТАЛЛОВ ПО МЕТОДУ ПОРОШКОВ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ МАЛЫХ КОНЦЕНТРАЦИЙ БОРА В СТАЛЯХ

(Представлено академиком С. И. Вавиловым 17 VIII 1944)

Современная металлургия использует сплавы с очень малыми, порядка сотых и тысячных долей процента, присадками тех или иных легирующих элементов. Так например, сейчас используются стали, легированные бором в количестве тысячных долей процента, стали, легированные цирконием и т. п.

Анализ подобных концентраций примесей химическими методами очень затруднен, и поэтому вполне естественным является широкое привлечение для решения этих задач спектральных методов анализа. Однако и спектральный анализ наталкивается здесь на ряд трудностей.

Первой из них является зачастую недостаточная чувствительность анализа. Так например, количественные определения бора в стали с помощью дуги удаются лишь при концентрации порядка 0,01%, а с помощью искры — 0,1%. Повысить чувствительность определений увеличением времени экспозиции, как правило, не удается, так как интенсивность линий лишь не намного больше интенсивности непрерывного спектра.

Следующей значительной трудностью является приготовление эталонов, необходимых для проведения количественных анализов. В большинстве случаев химические методы анализа не могут обеспечить сколько-нибудь достаточную точность анализа эталонируемых образцов. При этом, как правило, различные химические методы анализа дают различные абсолютные значения анализируемых примесей. Заметим, что эта трудность настолько серьезна, что в спектрально-аналитической литературе неоднократно делались предложения вообще отказаться в этих случаях от связывания результата спектральных измерений с концентрацией элемента в пробе, выраженной в процентах, с помощью химически проанализированных эталонов; предлагали связывать эту величину непосредственно с физико-механическими свойствами металла (электропроводность, твердость и т. д.), интересующими потребителя.

Наконец, при малых концентрациях примесей зачастую имеет место неравномерность их распределения по объему пробы; в этих случаях спектральный анализ, при котором затрагивается лишь небольшой участок поверхности пробы, может сопровождаться большими ошибками.

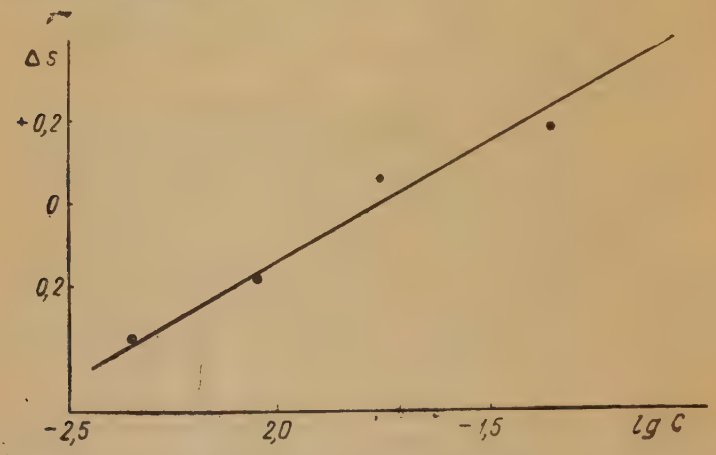
Нам представляется, что перечисленные выше затруднения можно в большинстве случаев обойти, если вести анализ не в твердых пробах, а в соответственно приготовленных из этих проб порошках. Мы разработали эту методику для анализа малых концентраций (порядка тысячных долей процента) бора в стали.

Исследуемая проба опиливается в нескольких точках мелким напильником. Полученные опилки просеиваются через мелкое сито с размером отверстия 0,3 мм. Просеянные опилки тщательно перемешивают-

ся, и из них отбирается навеска в 200 мг. Навеска помещается в лунку, высверленную в алюминиевой колодке. Источником возбуждения спектра служит активизированная дуга переменного тока, одним электродом которой является исследуемая проба, а вторым — стержень из железа армко. Кратер дуги не касается колодки, а перемещается лишь по поверхности опилок, быстро сплавляя их и обеспечивая весьма интенсивное испарение. В этих условиях нами получена исключительно большая чувствительность определения бора. Почернение линии B λ-2496,7 Å. при концентрации бора в 0,003% уже при экспозиции в 30 сек. оказывается в области нормального почернения при практически отсутствующем фоне непрерывного спектра.

Сравнение спектров твердой пробы и приготовленного из нее порошка, снятых с одинаковой экспозицией, показывает усиление линий бора в спектре порошка в 10—15 раз. Опыты, проделанные нами для элементов Si и Mn, показали, что соответствующее усиление линий в спектре порошков наблюдается и для этих элементов.

При описываемом методе работы весьма просто решается и проблема приготовления эталонов. Их можно изготовить «разведением» порошков, приготовленных из образцов со средними концентрациями определяемого элемента.



Так, например, при анализе на бор мы готовили эталоны из образца, содержащего 0,10% бора. Образец опиливался напильником и к просеянным опилкам прибавлялись в соответствующей пропорции опилки, приготовленные из железа армко. Тщательное перемешивание опилок обеспечило равномерность распределения опилок с бором в массе железных опилок.

В качестве примера мы приводим на рисунке градуировочный график, проведенный по приготовленным таким образом эталонам с содержанием бора 0,005; 0,012; 0,02; 0,05%.

Разумеется, приготовленные этим путем эталоны могут не вполне соответствовать по структуре анализируемым пробам, что может привести к некоторым систематическим ошибкам анализа. Однако, нам кажется, что эта опасность вряд ли может быть серьезной, так как подобные влияния в дуге вообще незначительны, а, кроме того, опилки быстро сплавляются, и различие в структуре металла теряется. Наконец, если даже и допустить возможность систематических ошибок, которые в наиболее резко выраженных случаях не превышают 10—20% от измеряемого содержания, то в применении к содержаниям порядка тысячных долей процента это не может иметь практического значения.

Возвращаясь к эффекту усиления линий при работе по методу порошков, необходимо отметить, что не все линии усиливаются одинаково.

Часть линий легирующих элементов и железа, как указывалось, резко усиливается, часть линий практически не изменяется, а часть линий в спектре порошков слабее, чем в спектре твердых электродов. Произведенная расшифровка показала, что все линии, усиливающиеся в спектре порошков, являются дуговыми линиями соответствующих элементов, а ослабляющиеся линии — искровыми. Кроме того, при стигматическом изображении дуги на щели спектрографа в спектре твердых электродов и в спектре порошков наблюдается различие в распределении интенсивности линий вдоль дуги; дуговые и искровые линии при этом также ведут себя по-разному.

В заключение пользуюсь случаем выразить благодарность проф. С. Л. Мандельштаму, под руководством которого выполнялась эта работа.

Московский институт стали
им. И. В. Сталина

Поступило
27 VIII 1944

Доклады Академии Наук СССР
1945. Том XLVIII, № 3

ФИЗИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

Г. С. ЖДАНОВ и З. В. МИНЕРВИНА

РАСШИФРОВКА КРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ SiCV (51-СЛОЙНАЯ УПАКОВКА)

(Представлено академиком А. Н. Фрумкиным 18 VIII 1944)

1. Литературные данные. Структуры SiCI, SiCII, SiCIII и SiCIV были определены Оттом (1). Отт опубликовал (2) также данные рентгенографического исследования очень редкого кристалла, карборунда, названного им SiCV. Кристалл SiCV в виде тонкой пластинки размером $1 \times 1{,}5$ см был найден среди кристаллов карборунда других известных модификаций на большом куске расплава. Эта модификация выделяется среди других модификаций карборунда своим необычно большим периодом вдоль оси $c = 128$ Å*. Величина периода в плоскости базиса не зависит от типа модификации $a = 3{,}08$ Å. Слойность структуры по направлению оси c $n_c = 51$ (!). В ромбоэдрических осях $a_r = 42{,}8$ Å; $\alpha = 4°8'$. Наименьшая слойность вдоль ребра ромбоэдра $n = 17$, т. е. в $3\,^2/_5$ раза больше, чем у SiCI, и в $2\,^5/_6$ раза больше, чем у SiCII. Положение атомов в структуре SiCV не было установлено ввиду обилия возможных вариантов размещения (по Отту около 30 000 структур) и практической невыполнимости расчета интенсивностей для всех вариантов.

Для расшифровки структуры SiCV мы применили теорию плотных шаровых упаковок (Белов). С помощью вновь введенного понятия — числового символа плотной шаровой упаковки (4) — удалось установить закономерности уже известных структур карборунда и на основании этого предложить несколько вероятных моделей структуры SiCV.

Расчет интенсивностей показал прекрасное согласие с опытными данными Отта для одного из вероятных вариантов.

2. Числовые символы известных структур карборунда. Кристаллы карборунда обладают алмазоподобными или тетраэдрическими решетками, в которых каждый атом A (кремния) находится внутри тетраэдра из атомов B (углерода) и наоборот. Решетки A и B, взятые в отдельности, совершенно одинаковы, относятся к одному из типов плотных упаковок и могут быть охарактеризованы числовым символом. Этот числовой символ будем считать также символом, полностью описывающим тетраэдрическую структуру карборунда. Координаты атомов A находятся по число-

* Мы даем исправленные значения периодов. Величина периода $a = 3{,}09$ Å, указываемая Оттом во всех его работах, приблизительно на 0,02 Å превышает значения, найденные в более поздних работах, $a = 3{,}076$ Å (3). Отсюда $c = 0{,}817 \cdot 51$, $a \cong 128$ Å.

вому символу известным способом ([4]). Координаты атомов B получаются из координат атомов A прибавлением ко всем координатам z длины вектора смещения обеих решеток $z_s = 3/4n_c = 1/4n$.

В табл. 2 работы ([4]) приведены числовые символы карборундовых решеток с одной главной осью: SiC II — 3.3; SiC III — 2.2; SiC I — 2.3. Числовые символы этих трех решеток карборунда имеют одну общую черту: они образованы только из двоек и троек. В карборундах устойчивы структуры со слоями, состоящими из двух и трех элементарных слоев. Обращает внимание отсутствие среди кристаллов карборунда упаковок с прослойками в один элементарный слой; например, вюрцитовой упаковки 1.1 и других простых упаковок, например, 1.2, 1.3 и т. п. Наиболее распространенной модификацией, как можно судить по литературным данным и как показывают рентгеновские фазовые анализы различных карборундов, произведенные в нашей лаборатории, является SiC II, построенный из тройных слоев.

3. Числовые символы вероятных упаковок SiC V. Предположим, что SiC V также построен из двойных и тройных слоев.

Построение соответствующих моделей 17-слойных структур равносильно нахождению их числовых символов. Последняя же задача сводится к простой арифметической задаче нахождения всех способов разложения числа $n = 17$ на четное число m двоек и троек.

Эта задача имеет только 2 решения: при $m = 6$ и $m = 8$. Вариант I: 2. 3. 3. 3. 3. 3 и вариант II: 2. 2. 2. 2. 2. 2. 2. 3. Найденные числовые символы и описывают вероятные упаковки SiC V. Обе упаковки — ромбоэдрические и обладают одинаковой симметрией $D^5_{3d} - R\bar{3}m$.

Соответствующие им тетраэдрические решетки являются полярными и относятся к пространственной группе $C^5_{3v} - R3m$. Для выбора единственного варианта структуры SiC V и проверки ее правильности нужно провести расчет интенсивности рентгеновских интерференций.

4. Структурная амплитуда SiC V. По теореме о структурной амплитуде сложной решетки структурная амплитуда бинарной тетраэдрической структуры с ромбоэдрической решеткой Бравэ может быть написана в виде (в гексагональных осях): $F(hkl) = F_r F_A F_z$, где F_r — амплитуда базиса ромбоэдрической решетки, F_A — амплитуда шаровой упаковки, F_z — амплитуда взаимного сдвига решеток углерода и кремния.

$$F_A = \sum_p e^{2\pi i \frac{pl}{n_c}} + \sum_q e^{2\pi i \left(\frac{2}{3} + \frac{q}{n_c}\right) l} + \sum_r e^{2\pi i \left(\frac{1}{3} + \frac{r}{n_c}\right) l};$$

$$F_z = f_{Si} + f_C e^{2\pi i \frac{l}{4n}},$$

где f_{Si} и f_C — функции рассеяния атомов кремния и углерода.

Целочисленные параметры p, q и r, определяющие положения атомов шаровой упаковки, находятся по числовым символам и имеют значения:

вар. I. $p = 0,4,6,10,12,16$; $q = 1,3,7,9,13,15$; $r = 2,5,8,11,14$,
вар. II. $p = 0,4,8,12,16$; $q = 1,3,5,7,9,11,13,15$; $r = 2,6,10,14$.

Если $h-k=3t$, то из условия ромбоэдра $h-k+l=3t$ следует, что l будет кратно $3t$. Из формулы структурной амплитуды шаровой упаковки получаем

$$F_A=\sum_{p=1}^{n} e^{2\pi i\frac{pt}{n}}=\begin{cases}0 \text{ при } t\neq nu\\ n \text{ » } t=nu\end{cases} \qquad (u=0,1,2,\ldots).$$

Если $h-k\neq 3t$, то из условия ромбоэдра получаем $F_r=0$ при $l=3t$, если же $l\neq 3t$, то $F_A\neq 0$, $F_r\neq 0$ и $F(hkl)\neq 0$.

5. Расчет $|F_A|^2$ и сравнение с опытом. Структурная амплитуда тетраэдрической упаковки является функцией только одного миллеровского индекса $F(hkl)=F(l)$, что значительно упрощает расчет интенсивностей. Для шаровой упаковки $|F_A(l_1)|^2=|F_A(l_2)|^2$ при условии $|l_1|+|l_2|=n$. Поэтому расчет $|F_A|^2$ достаточно произвести только для $\frac{1}{3}n_c=n$ интерференций; в рассматриваемом случае — для 17 независимых точек. Результаты расчета $|F_A|^2$ для обоих вариантов приведены в таблице.

Вычисленные $|F_A|^2$ для двух вариантов структур и измеренные I для SiCV

l_1	l_2	$\lvert F_A\rvert^2$		I эксп.			
				21 l		10 l	
		вар. I	вар. II	l_1	l_2	l_1	l_2
1	$\overline{50}$	0,3	10	0	—	о. сл.	—
$\overline{2}$	49	0,3	5,1	0	—	о. сл.	—
4	$\overline{47}$	0,6	0,3	о. о. сл.	—	о. сл.	—
$\overline{5}$	46	0,5	1,9	о. о. сл.	—	сл.	—
7	$\overline{44}$	7,4	0	ср.	сл.	ср.	—
$\overline{8}$	43	22,3	2,6	с.	с.	с.	—
10	$\overline{41}$	14,7	0,1	ср. с.	сл.	ср. с.	—
$\overline{11}$	40	0,9	14,7	о. о. сл.	0	сл.	—
13	$\overline{38}$	5,8	59,3	сл.	о. о. сл.	ср.	—
$\overline{14}$	37	0,2	31,5	0	0	о. о. сл.	—
16	$\overline{35}$	51,7	1,2	о. с.	с.	с.	о. с.
$\overline{17}$	34	64,0	4,0	о. с.	о. с.	о. с.	о. с.
19	$\overline{32}$	14,5	16,2	ср. с.	о. сл.	ср. с.	с.
$\overline{20}$	31	0,4	3,1	о. о. сл.	0	о. сл.	0
22	$\overline{29}$	7,1	2,9	сл.	о. о. сл.	ср.	ср. с.
$\overline{23}$	28	2,2	7,7	0	0	ср. сл.	сл.
25	$\overline{26}$	98	143,1	о. с.	о. с.	о. с.	о. с.

Величины $|F_A|^2$ сравнивались с экспериментальными интенсивностями, определенными визуально по репродукции с рентгенограммы колебания SiCV, приведенной в работе Отта [2]. При расчете интенсивностей не учитывался монотонно изменяющийся, в зависимости от l, множитель сдвига $|F_z|^2$, который в значительной мере

компенсируется кинематическим множителем, впервые введенным в рассмотрение Оттом. Также не учитывались и другие монотонные множители интенсивности, поскольку различные варианты обсуждаемых структур отличаются дискретно изменяющимися значениями параметров и не было необходимости в тонких вариациях параметров и тонких измерениях интенсивностей.

Сравнение вычисленных и измеренных интенсивностей исключает вариант II и однозначно подтверждает правильность варианта I, для которого получается прекрасное согласие расчета с опытом. Вариант I: 2.3.3.3.3.3 представляет собою структуру «слегка испорченной» модификации SiC II: 2.3.3.3.3.3 = 17 = 18 — 1 = 3.3.3.3.3.3—1.

Р е з ю м е. С помощью числовых символов плотных шаровых упаковок установлены закономерности структур карборунда, построенных из двойных и тройных слоев. Предположение об аналогичном строении SiC V, с 17-слойной упаковкой, приводит к двум вероятным моделям структуры, из которых опыт однозначно указывает на структуру с символом упаковки 2.3.3.3.3.3, наиболее близкую к основной модификации SiC II с символом упаковки 3·3.

Рентгеновская лаборатория
Физико-химического института им. Л. Я. Карпова

Поступило
18 VIII 1944

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

[1] H. O t t, Z. Krist., **61**, 515 (1925); **62**, 201 (1926). [2] H. O t t, Probleme der modernen Physik, Sommerfeld Festschrift, **5**, 208 (1928). [3] G. B o r r m a n n, H. S e y f a r t h, Z. Krist., **86**, 472 (1933). [4] Г. С. Ж д а н о в, ДАН, XLVIII, № 1 (1945).

Доклады Академии Наук СССР
1945. Том XLVIII, № 3

ФИЗИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

Ц. Л. МИНЦ и Г. В. АКИМОВ, член-корреспондент АН СССР

СТРУКТУРА АУСТЕНИТНОЙ ЖАРОУПОРНОЙ СТАЛИ

КИНЕТИКА РОСТА ЗЕРНА И РАСТВОРЕНИЯ КАРБИДОВ В СТАЛИ ЭИ-69 ПРИ НАГРЕВЕ

Аустенитная сталь типа 13Cr13Ni2W, иногда еще с добавлением до 2% Si и 0,5 Mo (ЭИ-69), принадлежит к числу самых распространенных высокопрочных жароупорных сталей. Из этих сталей во всем мире изготовляются клапаны мощных авиационных моторов, турбинные лопатки и ряд других ответственных деталей. Известно, что жаропрочность этого рода сталей может быть значительно увеличена при повышении температуры закалки от обычно применяемой температуры 1050—1100° до 1200—1250°. При этом значительно возрастают полиэдры аустенита в стали и сталь приобретает крупнозернистое строение. Увеличение жаропрочности сопровождается резким снижением пластичности ([1-2]). В практических условиях повышением температуры закалки удается увеличить жаропрочность деталей в 2—4 раза при снижении удлинения на 50—80%.

Чтобы установить причины такого резкого изменения механических свойств при высоких температурах, необходимо прежде всего изучить кинетику роста зерна и растворения карбидов в стали ЭИ-69 при нагреве перед закалкой. В наших опытах образцы стали закаливались в воде после нагрева при температурах от 900 и до 1300° и при выдержках от 5 мин. до 75 час. При помощи микроисследования определялось число карбидов и их величина. Микрометодом определялась и величина зерна в образцах, закаленных от 1200° и выше.

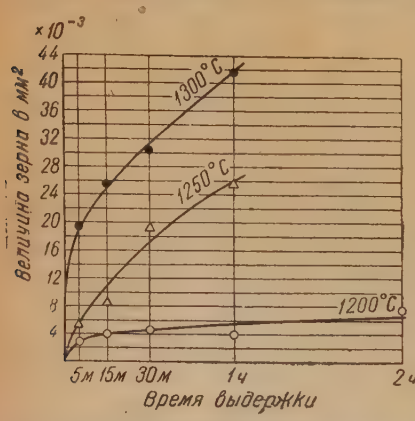


Рис. 1. Зависимость величины зерна стали ЭИ-69 от температуры нагрева и времени выдержки перед закалкой

Ниже 1200° рост зерна устанавливался косвенно при помощи рентгеновского метода по числу интерференционных пятен. Большое число карбидов, оставшихся еще не растворенными, делает невозможным микроскопическое определение. Оказалось, что при 900° наблюдается хотя и медленный, но вполне регистрируемый рост аустенитных зерен.

На рис. 1 изображена зависимость роста зерен от температуры и времени выдержки. Видно, что резкое увеличение скорости роста зерен начинается между 1200—1250°. Это отвечает практически полному растворению карбидов в стали. Кинетика растворения карбидов пред-

ставлена на рис. 2. Из этой диаграммы следует, что растворение карбидов непрерывно увеличивается с ростом температуры. Для всех температур, за исключением 900°, с увеличением времени выдержки число видимых карбидов также падает. Для температуры 900° кривая зависимости числа карбидов от времени выдержки имеет вид кривой с пологим максимумом. Таким образом, при многих выдержках плотность карбидов (число карбидов на единицу объема) сначала возрастает, а затем медленно падает, Это объясняется тем, что одновременно идут несколько разных процессов:

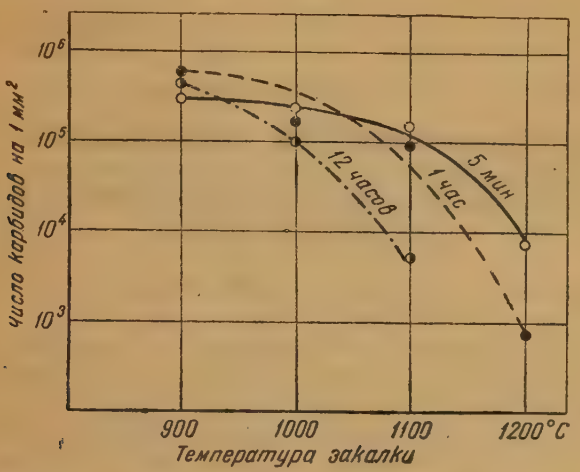


Рис. 2. Зависимость числа карбидов в стали ЭИ-69 от температуры нагрева и времени выдержки перед закалкой

а) растворение карбидов в твердом растворе,

б) коагуляция микроскопически различимых карбидов в более крупные,

в) коагуляция карбидов замикроскопических размеров до размеров, различимых в микроскопе.

Процессы а) и б) ведут к уменьшению числа карбидов, определяемых в микроисследовании, тогда как процесс в) к увеличению числа видимых карбидов.

Таким образом, при 900° при малом времени выдержки преобладает процесс коагуляции замикроскопических карбидов, а затем два других процесса. При прочих температурах преобладают процессы растворения и коагуляции микроскопически определяемых карбидов. При длительных выдержках (50 час.) карбиды коагулируют в весьма большие частицы, в 20—100 раз бо́льшие исходных карбидов в стали.

Лаборатория физики металлов
Всесоюзного института авиационных материалов

Поступило
27 I 1945

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

[1] Ф. Ф. Тимошин, Жароупорные стали для авиационных двигателей, 1942.
[2] Марковец, Техника Возд. Флота, № 11 (1944); № 17 (1944).

Доклады Академии Наук СССР
1945. Том XLVIII, № 3

ФИЗИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

С. Б. РАТНЕР

К РАСЧЕТУ ХАРАКТЕРИСТИК ДЕТОНАЦИОННОЙ ВОЛНЫ, СТАЦИОНАРНО РАСПРОСТРАНЯЮЩЕЙСЯ В КОНДЕНСИРОВАННЫХ ВВ, И УРАВНЕНИЮ СОСТОЯНИЯ ПРОДУКТОВ ВЗРЫВА

(Представлено академиком Н. Н. Семеновым 13 X 1944)

1. Для определения четырех характеристик детонационной волны: скорости детонации D, скорости продуктов взрыва непосредственно за фронтом U, их плотности $\rho = 1/v$ и давления во фронте p гидродинамическая теория детонации дает три закона сохранения (массы, количества движения и энергии) и условие Жюге-Крюссара

$$D = U + C = v_0\sqrt{-(\partial p/\partial v)_s}, \qquad (1)$$

означающее, что скорость детонации равна скорости звука C относительно продуктов взрыва. Не рассматривая механизма детонации конденсированных ВВ, мы будем считать применимым условие (1). Использование же законов сохранения оговорок не требует.

Введение уравнения состояния продуктов взрыва, необходимого для определения входящей в условие (1) изэнтропической производной от давления по объему, позволяет найти пятую характеристику: температуру детонации T. Применение к продуктам взрыва уравнения Клапейрона дает:

$$D_{\text{ид}} = \frac{k+1}{\sqrt{k}}\sqrt{\frac{n}{M}R}\sqrt{T} \simeq \frac{\sqrt{T}}{30}\ (\text{км/сек.}), \qquad (2)$$

так как $k = c_p/c_v \simeq 1{,}2$, а значение M/n — средний молекулярный вес продуктов взрыва (состоящих для многих ВВ главным образом из CO_2, H_2O, N_2, CO) — можно принять равным 30 г. Поскольку обычно $T = 3\,000 - 5000°$, то скорость детонации близка к 2 км/сек.; как следует из (2), она не зависит от плотности.

Однако наблюдаемая на опыте возрастающая с плотностью скорость детонации конденсированных ВВ может достигать 8 км/сек. Это связано с тем, что на ее величину существенно влияет неидеальность продуктов взрыва, плотность которых достигает 2 г/см³. Для жидких и твердых ВВ расчет может быть произведен при использовании уравнения состояния, правильно описывающего свойства продуктов взрыва. При этом изменятся все формулы, связывающие параметры детонационной волны с температурой.

2. Одна из первых попыток (1916 г.) такого рода расчета (применительно к нитроглицерину и гремучей ртути) принадлежит Беккеру (1). Он построил для азота уравнение состояния

$$p = RT\rho[1 + f\rho e^{f\rho}] + a\rho^2[h\rho^s - 1], \qquad (3)$$

которое * согласуется с опытными данными Бриджмена ([2]), полученными при 65° С до плотностей 1,1 г/см³. Использование этого конкретного уравнения незаконно, так как нельзя отождествлять с азотом продукты взрыва, особенно учитывая их более высокую плотность.

Очевидно, эти обстоятельства, усугубленные тем, что выражение (3) усложняет математический расчет, привели к тому, что работа Беккера осталась одинокой в литературе.

3. Значительно большее развитие получил обратный путь, который избрали несколько раньше (1912 г.) Таффанель и Дотриш ([3]), нашедшие поддержку у Жюге ([4]), и затем (1935—36 гг.) Шмидт ([5]).

Они полагают уравнение состояния в общем виде

$$p(v-\alpha)=\frac{n}{M}RT \qquad (4)$$

и, считая коволюм α постоянным, получают ** из гидродинамической теории

$$D=\frac{k+1}{\sqrt{k}}\sqrt{\frac{n}{M}RT\frac{1}{1-\alpha\rho_0}}=D_{\text{ид}}\frac{v_0}{v_0-\alpha}. \qquad (5)$$

Поскольку расчет $D_{\text{ид}}$ возможен по формуле (2), эти авторы предлагают на основании опытных данных для зависимости D от начальной плотности $\rho_0=1/v_0$ вычислить α, которое и использовать в дальнейшем для интер- и экстраполяции ([3]), а также расчетов скорости детонации других ВВ ([5]).

Однако расчеты, проведенные для динамита ([3]), тротила, тэна и др. ([5]), показали, что коволюм не постоянен: он растет с ростом удельного объема. Следовательно, использование $\alpha=\text{const}$ при подстановке (4) в (1) является неправильным *** для детонации конденсированных ВВ, так что формулы Таффанеля — Дотриша — Шмидта оказываются неверными.

4. Для того чтобы правильно осуществить идею Таффанеля и Дотриша, следует избрать такую форму уравнения состояния продуктов взрыва, которая бы отвечала опытным фактам. Мы использовали с этой целью упомянутые в § 2 данные Бриджмена ([2]). Они показывают возможность применения в исследованном им интервале плотностей уравнения (4), если для коволюма введена симбатная зависимость от объема. Ее мы приняли в общеизвестной форме Ван-Лаара, $\alpha=bv/(c+v)$, преобразующей (4) к виду

$$p=\frac{n}{M}RT\frac{v+c}{v[v-(b-c)]}, \qquad (6)$$

где $b>c>0$. Последние константы и нужно определить из опытных данных для $D=D(\rho_0)$.

---

* Отметим, что не зависящий от температуры член формулы (3) содержит связанное с силами отталкивания положительное слагаемое, превышающее температурный член при плотностях, близких к 2 г/см³. Здесь и в дальнейшем мы имеем в виду **упругие** силы отталкивания, против которых совершается работа при сжатии, так что они влияют на $(\partial E/\partial p)_T$. Они существенно отличаются от обычно связываемых с коволюмом сил отталкивания **теплового характера**. Учет последних формулами (4) и (6) не меняет выражения $(\partial E/\partial p)_T$, которое остается равным нулю, как в случае уравнения Клайперона.

** Аналогичную (6) формулу получил еще в 1891 г. Вьель ([6]), использовавший уравнение (4) в формуле Лапласа, связывающей упругость газа со скоростью звука, которую он и приравнял к скорости детонации.

*** На эту ошибку наше внимание обратил проф. Я. Б. Зельдович.

5. Введение формулы (6) в основные уравнения приводит к отличным от фигурировавших ранее соотношениям. Для U получается

$$U = \sqrt{\frac{nRT}{Mk\left[1-\frac{bc}{k(v+c)^2}\right]}} = \frac{(U)_{\alpha=\text{const}}}{\sqrt{1-\frac{bc}{k(v+c)^2}}}, \qquad (7)$$

где $U_{\alpha=\text{const}}$ соответствует § 4.

Формулу (5) заменяет система двух уравнений:

$$D = D_{\text{ид}} \frac{\sqrt{k}}{k+1} \frac{x}{\sqrt{y}(v-b+c)}, \qquad (8)$$

$$v_0 = v\frac{x}{y}, \qquad (9)$$

где $x = (k+1)v^2 + [2(k+1)c - b]v + [(k+1)c - 2b]c$; $y = kv^2 + 2kcv + (kc-b)c$.

Эта система имеет громоздкое алгебраическое решение (учтя вид x, y), хотя в принципе весьма просто связывает (через параметр v) D с v_0, что очень существенно, ибо соотношение между ними дается опытом.

6. Для того чтобы показать численные отклонения, внесенные ошибкой Шмидта, мы, остановившись на тэне, избрали исходные данные Шмидта: $k = 1{,}2$; $M/n = 29{,}2$ г; $T = 5000°$ К; $D_{\text{ид}} = 2{,}4$ км/сек и использованные им результаты опытов Фридриха для $D = D(v_0)$. Решая систему уравнений (8) — (9) графически, мы получили $b = 1{,}6$ см³/г; $c = 1{,}36$ см³/г. Отсюда уравнение состояния для продуктов взрыва тэна

$$p\,(\text{атм.}) = 83{,}1\,\frac{n}{M}\,\frac{v+1{,}36}{v(v-0{,}24)}\,T. \qquad (10)$$

В результате, вместо полученного Шмидтом постоянного значения $U = 1{,}09$ км/сек., мы имеем в диапазоне 0,25 — 1,6 г/см³ возрастание U от 1,16 до 1,6 км/сек. Для давления во фронте наши результаты превышают полученные Шмидтом в таком же соотношении (в частности, при $\rho_0 = 1{,}2$, давление по Шмидту 82 000, у нас — 114 000 атм.). Аналогичная картина имеет место и для других параметров.

7. Для того чтобы сделать выводы о пределах применимости полученных нами формул, следовало сопоставить результаты их использования с непосредственными опытными данными (Бриджмена). Итоги сравнения (для азота) приведены в таблице.

v $\frac{\text{см}^3}{\text{г}}$	$p \cdot 10^{-3}$ атм.	
	Опыты Бриджмена [4]	Расчет по формуле (8)
1,29	3	1,97
1,09	6	2,63
0,98	10	3,22
0,91	15	3,75

Характер расхождений данных подтверждает отраженную еще формулой Беккера (3) возрастающую с плотностью роль сил отталкивания, не зависящих от температуры. Таким образом, принятый в наших расчетах вид уравнения состояния в форме $p = RT\varphi(v)$ не может отразить свойств продуктов взрыва при высоких начальных плотностях ВВ.

8. Между тем, использование именно этой формы открывало перспективу полного расчета характеристик детонационной волны в конденсированных ВВ, так как она прокладывала мост между ними и газами, для которых расчет имеет лишь преодолимые трудности, как это показали Зельдович и автор [7].

Отсюда следует, что не только неправильны формулы и расчеты Таффанеля — Дотриша — Шмидта, но и неосуществима сама идея

их: использовать поправочный коэффициент $D/D_{ид}$ на неидеальность продуктов взрыва.

Для получения правильной связи между величинами, характеризующими детонационную волну, необходимо * использовать уравнение состояния, учитывающее силы отталкивания.

9. Наряду с этим, поскольку для определенных классов ВВ и продукты взрыва близки по составу, можно полагать, что — в пределах этих классов — температурная доля давления будет мало меняться при заданной плотности. Это дает возможность использовать развитые методы расчета, в частности, в приложении к жидкостям.

Заключение. 1. При использовании общих уравнений гидродинамической теории детонации для конденсированных ВВ дана критика предшествующих работ: Беккера, Таффанеля и Дотриша, Жюге, Шмидта.

2. Уравнения гидродинамической теории решены при уравнении состояния Ван-дер-Ваальса, содержащем коволюм в форме Ван-Лаара.

3. Рассчитаны константы уравнения состояния продуктов взрыва, исходя из опытных данных зависимости скорости детонации тэна от плотности.

4. Обратное сопоставление с опытными данными Бриджмена показывает необходимость учета при высоких плотностях, не зависящих от температуры сил отталкивания.

Автор выражает свою признательность Ю. Б. Харитону и Я. Б. Зельдовичу за ценные дискуссии.

Институт химической физики
Академии Наук СССР

Поступило
13 X 1944

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

[1] R. Becker, Z. Elektrochem., **23**, 40 (1917). [2] П. Бриджмен, Физика высоких давлений, 1935, стр. 109. [3] J. Taffanel et H. Dautriche, C. R., **155**, 1221, 1595 (1912). [4] E. Jouguet, Mécanique des explosives, Paris, 1917, p. 367. [5] A. Schmidt, Z. Schiess-Sprengst., **30**, 364 (1935); **31**, 8, 37, 80, 114, 149 (1936). [6] P. Vieille, Mém. poudr. salp., IV, 20 (1891). [7] Я. Б. Зельдович и С. Б. Ратнер, ЖЭТФ, **11**, 170 (1941).

* На это обстоятельство наше внимание обратил проф. Л. Д. Ландау.

Доклады Академии Наук СССР
1945. Том XLVIII, № 3

ГЕОХИМИЯ

Я. Я. ЯРЖЕМСКИЙ

КАЛИЙНЫЕ СОЛИ ИНДЕРСКОГО ПОДНЯТИЯ

(Представлено академиком А. Е. Ферсманом 30 IX 1944)

Впервые на Индере калий был обнаружен химическими анализами рапы озера, когда было заподозрено наличие калийных образований в солях поднятия, за счет размыва верхних частей которого поступают минерализованные воды в котловину озера Индер. В связи с этим в 1927—31 гг. на Индере были поставлены Центральным научно-исследовательским геолого-разведочным институтом работы, давшие геологические материалы, послужившие к открытию в 1934 г. боратов, но не приведшие к определенному ответу о калиеносности Индерского поднятия.

Начиная с 1935—1936 гг., Индер становится всесоюзным поставщиком боратового сырья. Систематические геолого-разведочные работы в пределах Индерского поднятия привели к открытию целого ряда боратовых месторождений в породах гипсовой шляпы и калийных образований в его солях. В некоторых калийных солях было обнаружено высокое содержание бора, позволившее рассматривать такие горизонты как источник калийно-борного сырья. После этого Индер стал представлять для нас интерес не только как борно-рудная, но и как калийная база большой народно-хозяйственной ценности.

В результате проведенных различными организациями (ВСЕГЕИ, Казгеолуправлением. Государственным институтом горно-химического сырья (ГИГХС)) геолого-разведочных работ на Индере установлено пять калийных месторождений в верхней части мощного (около 3 км) поднятия, сложенного преимущественно галитовыми породами.

Особый интерес представляют результаты буровых работ в пределах калийного месторождения № 1, расположенного в 14 км к востоку от Индерборстроя, между боратовыми участками № 7 и 8. Здесь Казгеолуправлением было пройдено два буровых профиля. Весьма ценные материалы, изложенные А. Н. Волковым в отчете о работах на Индере в 1940 г., были получены по данным первого разведочного профиля. В разрезе скважины № 238 сильвиниты начинаются непосредственно от самой поверхности соляного зеркала. От глубины 49,8 до 168,3 м, мощностью по вертикали 118,5 м, идут почти совершенно однородные сильвиниты со средним (из 29 проб) содержанием калия (именно калия, а не K_2O) в 25,9%. Эта цифра является исключительно высокой, а месторождение — заслуживающим большого внимания. Ценность его возрастает также в связи с тем, что залежь калийных солей продолжается на глубину. От 168,3 до 181,15 м — переслаивание сургучно-красного сильвинита с тонкими прослоями полигалита и галита. Среднее содержание калия по этому интервалу определяется в 20,83%. От 181,15 до 199,78 м — галит, переслаивающийся с полигалитом. От глубины 199,78 м и до забоя скважины (до 220,47 м и ниже) следуют такие же пятнисто-окрашенные сильвиниты, как и в верхних горизонтах, но несколько беднее содержанием калия (в среднем 18%).

Позднее (в 1941—1944 гг.) геолого-разведочными работами ГИГХС между I и II профилями Казгеолуправления пройден промежуточный профиль. Последний дал возможность подсчитать запасы калийных солей в юго-восточной половине месторождения и наметить точку заложения разведочно-эксплоатационной шахты на калийном месторождении № 1.

Второе калийное месторождение вскрыто лишь нашими тремя близко расположенными скважинами в пределах солей, подстилающих боратовый колосс кепрока № 36. Оно представляет большой интерес в связи с тем, что здесь впервые для Индера были обнаружены каинитовые соли промышленного значения в парагенезе с первичными боратовыми (калиборитовыми) рудами. Это месторождение требует дальнейшего изучения, как и калийное № 3 (у боратового № 31-а), сложенное карналлитами, установленными прошлыми изысканиями Казгеолуправления.

Проведенными работами выяснена чрезвычайная сложность условий залегания калийных солей Индера, отсутствие сколько-нибудь надежных маркирующих элементов, что весьма затрудняет детальное изучение месторождений колонковым бурением для получения запасов промышленных категорий. Последние могут быть определены лишь в процессе ведения подземных разведочно-эксплоатационных работ, на которые и следует перейти в ближайшее время при дальнейшем изучении месторождений.

Калийные соли Индерского поднятия после Соликамска, с его неисчерпаемыми запасами, стоят в СССР на первом месте. Обладая меньшими, чем Соликамск, запасами калийных солей, Индер в то же время имеет даже некоторые преимущества перед этим несравнимым мировым калийным колоссом. Если Соликамск располагает только хлоридами калия, характеризуясь своей бессульфатностью, то Индер наряду с сильвинитами имеет и сульфаты калия (полигалиты, каиниты). Сильвиниты Индера богаче, как правило, калием, чем сильвиниты Соликамска и месторождений Прикарпатья (Калуша, Стебника). Калийные соли Индера, пока единственные в СССР, встречаются нередко совместно с материнскими боратами, часто промышленного содержания или же в качестве небольшой примеси, что придает калийным солям ценную добавку борных микроудобрений. Перспективные борные ресурсы Индера (пока единственного поставщика бора для нашей отечественной промышленности) находятся в тесной координации с проблемою калия.

Высокое содержание калия в сильвинитах месторождения № 1 в пределах первого профиля Казгеолуправления обеспечивает получение удобрительных солей после простого размола сырых сильвинитов без добавления высокопроцентного концентрированного фабричного хлористого калия. Размолотый сильвинит с содержанием калия в 25% должен дать удобрительную соль товарной марки 30% солей (30% K_2O или 47,5% KCl). Судя же по литературе ([1], [2]), при использовании сырых калийных солей в качестве удобрений отмечаются их преимущества перед концентрированными.

Таким образом, геолого-разведочными работами последних 5—7 лет намечается на Индере огромной ценности калийно-борная база для удовлетворения колоссальных и все возрастающих запросов социалистического земледелия Средней Азии, Прикаспия и Северного Кавказа на минеральные удобрения и нашей промышленности на борное сырье.

Поступило
30 IX 1944

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

[1] Д. В. Дружинин, Калий, № 1 (1934). [2] В. Н. Прокошев, Калий, № 1 (1938).

Доклады Академии Наук СССР
1945. Том XLVIII, № 3

ГЕОЛОГИЯ

И. К. ИЛЛАРИОНОВ

К ВОПРОСУ О ГЕОХИМИИ СЕРОВОДОРОДА ПРИВОЛЖСКОЙ ПОЛОСЫ СВИЯЖСКО-СУРСКОГО ВОДОРАЗДЕЛА

(Представлено академиком П. И. Степановым 11 V 1945)

Водораздел между реками Сурой и Свиягой протягивается очень далеко по направлению на юго-восток от Волги. Говоря о Приволжской полосе, мы имеем в виду бассейны рр. Большого и Малого Цивилей, бассейны левых притоков р. Свияги от ее устья до р. Карлы включительно и бассейны правых притоков р. Суры от ее устья до р. Бездны включительно. Геологическое строение представлено следующими образованиями, которые либо выходят на дневную поверхность, либо вскрыты глубокими буровыми скважинами до глубины 200—250 м от условного нуля *.

Из наиболее древних образований пока нам известны кунгурские отложения, представленные голубоватыми ангидритами, перемежающимися небольшими прослоями доломитов. Вскрытая мощность 15—20 м.

Над ними залегает толща казанских доломитов, в основании которых местами имеются доломитизированные известняки. На некоторых участках они в той или иной степени битуминизированы. Подошва карбонатной толщи казанского яруса обычно заканчивается прослоем гипсов в 8—10 м, а местами и 12 м, а самое основание всей толщи пород казанского яруса начинается 20—25-метровой пачкой ангидритов, перемежающихся прослоями глинистых доломитов. Гипсов в подошве доломитизированных известняков мало или почти совсем нет, а в кровле казанских отложений они имеются только в тех местах, где эти отложения залегают на сравнительно низких гипсометрических отметках. Общая мощность толщи карбонатных пород казанского яруса 60—90 м, а вместе с сульфатными прослоями казанские отложения достигают 80—115 м. В системе долины рр. Волги и Суры и пределах указанной части водораздела белебеевских образований нет.

Выше следует масса пород татарского яруса, как известно, представленная пестроцветными образованиями. Имеются уржумская и сарминская свиты. На площадях восточной половины Приволжской полосы Свияжско-Сурского водораздела сарминская свита представлена не полностью.

В восходящем направлении в сторону верхней границы татарской толщи как в карбонатных, так и в других породах количество окиси магния сильно уменьшается, а количество темных минералов возрастает.

Общая мощность татарской толщи в восточной половине названного водораздела 200—225 м, а в западной — 300—315 м. Мезозойские отло-

* За условный нуль взят урез р. Волги у г. Чебоксары, находящегося примерно посредине между устьями рр. Суры и Свияги.

жения представлены сравнительно однотипными темносерыми и темными глинами верхней юры и нижнего мела, но верхнемеловые образования сильно отличаются от остальных. Они представлены светлыми мергелистыми трепелами. На контакте юрских и меловых отложений имеется продуктивный фосфоритовый горизонт, а под ним залегает пачка горючих сланцев зоны Pavlowia panderi. Мощность пачки сланцев 0,5—2,25 мм. Некоторое количество фосфоритов в виде базального конгломерата имеется и в подошве верхнемеловых трепелов (турон).

Третичные отложения установлены только в нескольких пунктах бассейна р. Суры и средней части течения р. Б. Цивиль. Они представлены отдельными пятнами кварцевых песков с гальками и брекчиевидными обломками опок. Отложения четвертичного времени лежат в виде некоторого чехла из постплиоценовых суглинков или боровых песков как над палеозойскими, так и над мезозойскими отложениями, причем боровые пески больше всего распространены в области развития мезозойских отложений. В делювиальных суглинках довольно часто встречаются бивни и части скелетов волосатого носорога. В некоторых местах нами установлены ледниковые валуны и остатки сильно разрушенной морены.

В свете геолого-геохимического анализа весьма важны установленные нами факты выхода сероводорода в ряде мест Приволжской полосы Свияжско-Сурского водораздела. В большинстве случаев сероводород был вскрыт при прохождении глубоких буровых скважин на глубине 200—250 м от дневной поверхности, причем по мере углубления скважин дебит его заметно увеличивался. Выходы сероводорода нами были установлены и на дневной поверхности. Такие факты зафиксированы в системе рр. М. Цивиль, Б. Цивиль, Унга и др. В местах выхода сероводорода на дневную поверхность участки сильно дислоцированы.

Вследствие того, что почти всюду сероводород вскрыт на сравнительно большой глубине и по мере углубления забоя скважины дебит заметно увеличивался, на дневную же поверхность он выходит на площадях дислоцированных участков, вопрос о его поверхностном происхождении полностью отпадает.

Мы полагаем, что в условиях геологии этой части Русской платформы геохимию сероводорода глубоких горизонтов в основном следует объяснить наличием в недрах газо-нефтяных залежей.

В пределах Приволжской полосы Свияжско-Сурского водораздела непосредственные выходы нефти на поверхность пока не установлены. Неизвестны также и ее окисленные остатки в виде асфальтов, хрупких битумов и других соединений. Только при прохождении глубоких буровых скважин в районе Мариинского посада, Цыган-касы, Чебоксар, Ильинки и в других местах в породах подошвы казанских и кровли кунгурских отложений, а также в водах этих скважин при вскрытии названных горизонтов нами был замечен довольно сильный запах нефти. Кроме того, в 1939—1941 гг. в непосредственной близости от северного конца данного водораздела, а именно в районе пристани Дубовка, на левом берегу р. Волги, был установлен выход нефти на дневную поверхность.

Известно, что в земной коре некоторое количество сероводорода накапливается в нефтеносных горизонтах, и в случае благоприятных для миграции условий он вместе с остальными парами и газами поднимается в более высокие горизонты. Но, кроме этого, в особенности в условиях Поволжья, мы считаем причиной возникновения значительных масс сероводорода и на сравнительно больших глубинах процессы восстановления сульфатов жидкими углеводородами или их парами. На площадях Приволжской полосы Свияжско-Сурского водораздела жидкие углеводороды и их пары могли проникнуть в область сульфат-

ных горизонтов в результате тектогенеза, происходившего после возникновения сульфатных горизонтов.

По вопросу восстановления сульфатов кальция битумами и конечного продукта этой реакции среди исследователей имеется несколько мнений. Одни из них ([2, 4] и др.) отрицают возможность восстановления сульфатов кальция битумами в природных условиях по формуле:

$$R''SO_4 + 2C = R''S + 2CO_2$$

или

$$CaSO_4 + CH_4 = CaCO_3 + H_2O + H_2S$$

в силу якобы эндотермичности этой реакции. По мнению Данильченко, Чигирина и Берга ([1, 2]), если и допускается возможность восстановления сульфатов кальция битумами, то с несколько иным ходом реакции и с последующим образованием свободной серы, а не сероводорода. Так например, по Данильченко и Чигирину, реакция будет протекать с постепенным образованием промежуточных окислов до свободной серы включительно

$$SO_4'' \rightarrow SO_3 — S_2O_3 \rightarrow S$$

или, по Бергу ([1]),

$$CaSO_4 + 2C + H_2O = Ca(SH)_2 + CaCO_3 + CO_3,$$
$$5CO_2 + 3Ca(SH)_2 + 2CaSO_4 + 3H_2O = 5CaCO_3 + 8S + 6H_2O.$$

Другие исследователи для восстановительных процессов сульфатов битумами считают необходимым наличие более сложных высокомолекулярных битумов и присутствие хороших катализаторов.

Мы полагаем, что в природе процессы восстановления сульфатов битумами с последующим образованием сероводорода имеют место, и для этого совершенно не обязательно присутствие сложных, высокомолекулярных битумов и катализаторов. За это говорят данные опытных работ Саханова и Лучинского, доказавших экзотермичность реакции восстановления сульфатов кальция ([5]). Мы полагаем, что упрощенно этот процесс будет протекать по следующей реакции:

$$CaSO_4 \cdot 2H_2O + CH_4 + nH_2O = CaCO_3 + nH_2O + H_2S$$

или

$$CaSO_4 + CH_4 + nH_2O = CaCO_3 + nH_2O + H_2S.$$

В недрах, несомненно, имеет место восстановление сульфатов с последующим образованием сероводорода в результате биогеохимических процессов. В нефтеносных пластах живут анаэробные бактерии, которые восстанавливают сульфаты в местах соприкосновения битумов с последними с образованием значительных масс сероводорода.

Перейдем к вопросу об условиях и времени образования сульфатных горизонтов на площадях Приволжской полосы Свияжско-Сурского водораздела. Общеизвестно, что на этой части Русской платформы особенности литогенеза в палеогеографической обстановке живетского века, среднего и лебедянского веков верхнего девона, а также нижнепермского времени были благоприятны для накопления значительных масс сульфатов кальция. Кроме того, как нам уже известно, некоторое количество сульфатов кальция возникло и сохранилось до настоящего времени и в нижней половине верхнепермских осадков.

Разумеется, некоторые из этих горизонтов сульфатов начали восстанавливаться битумами, проникшими в результате тектогенеза. Только этим можно объяснить такое большое количество сероводорода, скопившегося в виде газовых шляп в куполах антиклиналей в районе Водолеевско-Собачкинской, Иштерекской, Ильинско-Юлзялской и других структур, которые нами были вскрыты при исследовании по проблеме «Большой Волги» в 1938 г. Например, в районе города Чебоксары 230-метровый столб воды был поднят газами почти на 11 м и держится на этой высоте до настоящего времени.

Кроме того, мы уже упоминали, что в районе этих структур буровыми скважинами на сравнительно больших глубинах были вскрыты пахнущие нефтью породы и воды. Последние факты следует объяснить проникновением «сухих» и «жирных» газов и нефтяных паров, возможно, даже с гексаном, пентаном и другими газами. Основная масса, будь то «сухих», или «жирных» нефтяных газов и паров, была затрачена на восстановление сульфатов, но некоторая часть нефтяных паров и газов, надо полагать, продолжала мигрировать, но уже с новыми попутчиками, т. е. с потоками сероводородов, возникших в результате восстановления сульфатов. Попав в среду H_2S, нефтяные пары и газы, конечно, сохранились лучше всего. Только поэтому мы в настоящее время являемся свидетелями того, что породы и воды многих глубоких буровых скважин при вскрытии кунгурских и даже низов казанских образований имеют запах нефти.

Учитывая вышеизложенные факты и построенные на их основании допущения, мы приходим к следующим выводам.

1. В пределах Приволжской полосы Свияжско-Сурского водораздела имеются нефтеносные горизонты.

2. Некоторая часть жидких битумов и их пары в результате тектогенеза проникли в область сульфатных горизонтов, где они начали восстанавливать сульфаты с последующим образованием значительных масс сероводорода.

3. Некоторое количество H_2S мигрировало и из нефтеносных горизонтов, но основная масса сероводорода возникла за счет геохимического и биогеохимического процессов восстановления сульфатов.

4. В куполах ряда антиклинальных структур имеются газовые шляпы, а на дневную поверхность выходит H_2S по тем или иным разломам на участках, сравнительно сильно дислоцированных.

5. Отсутствие на дневной поверхности непосредственных выходов нефти или ее окисленных остатков объясняется наличием мощного и широко развитого, сравнительно пластичного чехла из глин и глинисто-мергелевых толщ татарского яруса. В южной части указанного водораздела этот чехол состоит из мезозойских образований, как известно, представленных в основном темными и темносерыми плотными глинами.

Изложенные факты в свете приведенных толкований подтверждают впервые нами высказанные допущения (1931—32 г.) о нефтеносности Приволжской полосы Свияжско-Сурского водораздела (3).

Поступило
10 VIII 1944

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

[1] G. Berg, L. T. pr. Geol., H. 11/2 (1917) [2] П. Данильченко и Н. Чигирин, Тр. особой геологическ. лаборатории АН СССР, сер. 2, 5—6 (1926). [3] И. К. Илларионов, Соц. строительство ЧАССР, № 1—2 (1933). [4] Г. Надсон, Микроорганизмы как геологические деятели, СПБ, 1903. [5] Саханов и Лучинский, Грозненское нефт. хоз., № 1—3 (1924).

Доклады Академии Наук СССР
1945. Том XLVIII, № 3

ГИДРОГЕОЛОГИЯ

С. В. ЗОНН

О РОЛИ ПОЧВООБРАЗОВАНИЯ В ФОРМИРОВАНИИ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ГРУНТОВЫХ ВОД

(Представлено академиком Ф. П. Саваренским 12 VII 1944)

Вопросам влияния минерализованных грунтовых вод на засоление грунтов и почв уделяется должное внимание в почвоведении и гидрогеологии. Обратная же зависимость изменения минерализации грунтовых вод под влиянием почвообразования остается менее исследованной и мало освещенной.

Исходя из общих представлений о развитии почв, вряд ли можно оспаривать роль и значение элювиального процесса почвообразования в формировании химического состава грунтовых вод, постоянно или периодически находящихся (или находившихся) в связи с почвенной толщей. В литературе мы нашли лишь одно указание Е. Н. Ивановой ([5]) на то, что степень и, отчасти, характер засоления грунтовых вод может зависеть и от характера почвообразования над ними.

Недостаточность аналитических данных по изучению связи между почвами и грунтовыми водами под ними заставили остановиться на водах под почвами солонцового типа почвообразования как наиболее изученных.

Солонцовые почвы, как известно, в своем генезисе связаны со сменой стадии засоления стадией рассоления благодаря вышелачиванию солей атмосферными осадками и понижению уровня грунтовых вод, первоначально засолявших их.

Анализы водных вытяжек и грунтовых вод были пересчитаны нами по Пальмеру и перечислены в процентных эквивалентах от состава тех и других, что исключает зависимость от концентрации, характеризуя лишь соотношение отдельных анионов и катионов, и дает возможность вести прямое сравнение с солевым составом грунтовых вод и вывести характеристики соленосностей и щелочностей почв и вод по Пальмеру *.

В табл. 1 анализы солевого состава почв солонцовых комплексов, формирующихся без отрыва от грунтовых вод, и анализы грунтовых вод из Заволжья показывают, что с увеличением степени солонцеватости (анализы № 1, 2) в почвах происходит накопление $Na^{\cdot}$ и снижение $Ca^{\cdot\cdot}$, $Mg^{\cdot\cdot}$, Cl' и SO_4'', которые вышелачиваются из почвенных растворов. Накопление $Na^{\cdot}$ ярко отражает пальмеровские характеристики, показывающие увеличение S_1 и A_2 в солонце по сравнению с каштановой солонцеватой почвой, т. е. увеличение содержания щелочных катионов, связанных с сильными кислотами, и щелочности, обусловленной щелочно-земельными основаниями.

В грунтовых водах под солонцом по сравнению с водами под каш-

* Для почв дан средний солевой состав, вычисленный из суммарного количества анионов и катионов, определенных во всем профиле от поверхности до грунтовых вод.

Средний состав водорастворимых соединений почв и грунтовых вод под ними[1–4] Таблица 1

№ п/п.	Характер почвы и грунтовые воды	Глубина вод в см	Сухой остаток	Мг-экв. / % экв. от состава вытяжки: HCO_3'	CO_3''	Cl'	SO_4''	$Mg^{\cdot\cdot}$	$Ca^{\cdot\cdot}$	$Na^{\cdot}+K^{\cdot}$ по разности	Характеристика по Пальмеру: S_1	S_2	A_1	A_2	Классы вод по Пальмеру
	Саратовское Заволжье														
1	Каштановая солонцеватая почва	—	0,503	0,48 3,95	0,10 0,82	3,70 30,37	1,81 14,86	—	3,37 27,67	2,72 22,33	44,66	45,80	—	9,54	III
1а	Грунтовая вода	410	17,05	2,82 193,72	—	12,51	—		125,02	89,03	41,60	51,10	—	1,30	III
2	Солонец	—	0,606	0,65 0,80	—	46,13 0,51	2,92 4,87	1,31	29,20 2,64	20,80 2,23	66,80	5,00	—	28,12	III
2а	Грунтовая вода	360	1,750	14,06 8,57	0,94	19,26 9,89	16,68 7,55	6,61 2,83	9,95 2,35	33,43 21,77	64,72	—	16,04	19,24	I
3	Каштановая сильно солонцеватая почва	—	0,893	15,90 0,32	1,74	18,35 0,65	14,01 11,45	5,24 4,27	4,38 4,04	40,32 4,11	33,10	64,32	—	2,58	III
3а	Грунтовая вода	700–800	2,13	1,29 19,56 28,73	—	2,61 0,76 1,12	46,10 13,73 20,16	17,18 2,88 4,23	16,27 1,25 1,84	16,55 29,99 43,92	42,56	—	45,28	12,14	I
4	Солонец остаточно-солончаковатый	—	1,08	12,44 20,37	—	0,27 7,79	10,47 21,84	0,86 7,22	1,45 7,28	8,16 35,50	59,26	—	11,74	19,00	I
4а	Грунтовая вода	670	0,810	5,16 37,31	—	0,85 6,15	0,90 6,51	2,00 14,49	2,90 21,00	2,01 14,54	25,31	—	3,64	70,98	I
	Прикаспийская низменность, Джанбекский район														
5	Грунтовая вода под солонцом слабо выщелоченным	559	—	3,44 1,00	—	74,16 21,6	98,74 27,3	24,67 7,2	33,00 9,9	113,67 33,1	66,00	31,80	—	2,2	III
6	Грунтовая вода под солонцом средне выщелоченным	512	—	5,08 1,5	—	57,62 17,7	92,80 30,8	10,69 3,3	26,45 8,2	125,36 38,5	77,00	20,00	—	3,0	III
	Южная Украина, Генический район														
7	Грунтовая вода под каштановой почвой на слабо засолен. лессе, повышение около пода	1 325	—	0,388 6,45	—	1340,0 38,94	0,218 4,61	0,01 1,21	0,139 7,08	0,943 41,71	83,43	3,68	—	12,90	III
8	Грунтовая вода под солонцовой почвой в поде «Чай»	12 100	—	0,534 42,6	—	0,038 5,41	0,019 1,99	0,014 5,89	0,066 16,	0,131 27,88	14,80	—	44,24	40,96	I

тановой солонцеватой почвой увеличивается S_1, A_2 и появляется первичная щелочность (A_1), обусловленная теми элементами, вынос которых отмечен из почвенных толщ. Вынос щелочей и аккумуляция их грунтовыми водами оказываются настолько значительными, что вызывают перемещение вод из III в I класс.

Сильная степень солонцеватости каштановых почв (анализ № 3) при пониженном стоянии грунтовых вод показывает, что в грунтовых водах, по сравнению с почвой, повышается S_1, снижается A_2 и появляется в более значительных количествах щелочность от щелочных оснований (A_1).

Остаточно-солончаковатый солонец (анализ № 4) характеризуется стадией максимального осолонцовывания, что отмечают и пальмеровские характеристики. По ним почва и вода отвечают I классу. Интересно, что эти характеристики отмечают большее количество щелочей в почвенных растворах, чем в грунтовой воде. По всей вероятности, последующее выщелачивание почвы будет приводить к постепенному сглаживанию различий в A_2 и к нарастанию A_1 в грунтовой воде.

Подтверждением тому, что в природных условиях процесс формирования химического состава грунтовых вод происходит именно так, могут служить следующие экспериментальные данные. Каштановая солонцеватая почва в лабораторных условиях промывалась водой; анализы первой и последней порций фильтратов (табл. 2) показали, что промывание приводит к тому же эффекту, который отмечен в природе. Даже ничтожный эффект выщелачивания отражен анализами, показавшими увеличение S_1 и A_2 и уменьшение S_2 от первой к последней порциям фильтрата, что так характерно для перехода от каштановых солонцеватых почв к солонцам.

Таблица 2

Изменение состава вод при фильтрации через метровую толщу каштановой солонцеватой почвы

(по анализам И. Н. Антипова-Каратаева) (*)

Порции фильтрата	Сухой остаток	мг-эквиваленты / % от суммы экв. в фильтрате						Характеристики по Пальмеру			
		HCO'_3	$'$	SO_4''	$Mg^{\cdot\cdot}$	$Ca^{\cdot\cdot}$	$Na^{\cdot}+K^{\cdot}$	S_1	S_2	A_1	A_2
Среднее из первых 10 л	9,562	3,4 / 1,2	116,0 / 40,4	24,1 / 8,4	37,6 / 13,1	23,0 / 8,0	82,9 / 28,9	58,8	39,8	—	2,4
То же из 90—100 л	2,276	6,6 / 7,5	19,6 / 22,3	17,7 / 20,2	9,8 / 11,2	8,2 / 9,3	25,9 / 29,5	59,0	26,0	—	15,0

Отражение влияния почвообразования на формирование химического состава грунтовых вод выявляется и при сравнении анализов грунтовых вод, взятых из-под солонцов слабо и средне-выщелоченных (табл. 1, № 5 и 6). Усиление выщелачивания приводит к большему выносу и накоплению в грунтовых водах солей, обусловливающих увеличение S_1 и A_2.

Аналогичные изменения химизма грунтовых вод показывают анализы № 7 и 8 (табл. 1). Переход вод под солонцами в воде «Чай» в I класс с превалированием первичной щелочности (A_1) обусловлен щелочными основаниями и слабыми кислотами. Под каштановыми же почвами по повышениям преобладают воды III класса.

Наконец, эти же данные показывают, что влияние почвообразовательных процессов на химизм грунтовых вод может проявляться и при значительной глубине залегания их.

По классификации грунтовых вод, основанной на пальмеровских характеристиках, к I классу относятся воды, преимущественно связанные с изверженными породами. Однако из разобранных случаев следует, что формирование щелочных вод не может быть ограничено только влиянием щелочных пород. Они могут формироваться и под влиянием почвенных растворов щелочного типа, свойственных солонцовому ряду почвообразования.

Значение почвообразовательных процессов как существенного фактора в формировании химизма грунтовых вод еще недостаточно учитывается. А между тем, повидимому, каждый почвенный тип элювиального ряда, как то: подзолистый, черноземный, каштановый, солонцовый и др., питая грунтовые воды почвенными растворами, по химическому составу весьма различными, может через них существенным образом отражаться на химизме грунтовых вод.

Акад. Ф. П. Саваренскому, советами и указаниями содействовавшему выполнению исследования, автор выражает свою глубокую признательность.

Поступило
12 VII 1944

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

[1] И. Н. Антипов-Каратаев, В. Н. Филиппова и А. И. Сапелов, Тр. Комиссии по ирригации, 6 (1936). [2] И. Н. Антипов-Каратаев, В. Н. Филиппова и А. И. Сапелов, Тр. Комиссии по ирригации, 4 (1935). [3] Р. С. Кац, Почвоведение, № 4 (1935). [4] В. А. Ковда, Солончаки и солонцы, изд. АН СССР, 1937. [5] Е. Н. Иванова, Почвы СССР, 1, изд. АН СССР, 1939.

Доклады Академии Наук СССР
1945. Том XLVIII, № 3

ПАЛЕОНТОЛОГИЯ

О. С. ВЯЛОВ

НОВЫЕ УСТРИЦЫ ИЗ ПАЛЕОГЕНА ЗАКАСПИЯ

(Представлено академиком В. А. Обручевым 25 VIII 1944)

В «устричном собрании» автора, хранящемся в Центральном геологическом музее в Ленинграде, имеется ряд устриц из Закаспийского палеогена.

В данной статье дается краткая характеристика некоторых наиболее интересных новых видов из палеогена Мангышлака (Мангыстау) и Туар-кыра.

Мангышлакские устрицы — *Gryphaea nomada* sp. n. и *Gr. transcaspia* sp. n. происходят из толщи желтых, зеленоватых и серых чакырганских песков и песчаников, лежащих на датских мшанковых известняках и покрываемых нуммулитовыми известняками среднего эоцена. В этих песках содержатся еще следующие виды устриц: *Liostrea reussi* Netsch., *Gr. sinzowi* Netsch. var. n., *Amphidonta* (*Gryphaeostrea*) *eversa* Mellev.

По возрасту толща песков относится, очевидно, к палеоцену и нижнему эоцену и является стратиграфическим аналогом всего или только верхней части согдийского отдела Средней Азии ([2]) и сумгаита Кавказа ([3]).

В отношении *Liostrea labrum* sp. n. известно только, что она происходит из палеогена Туар-кыра (кол. Джарык), откуда описанные образцы были доставлены Б. А. Федоровичем. Правда, Н. П. Луппов сообщил нам, что такие же устрицы,— а они очень легко могут быть узнаны,— им были найдены в Туар-кыре (Агоз и Ходжа-су) в самых низах палеогенового разреза и приведены в его работе под названием *Dymyodon* (?) sp. ([4]).

Эти слои, по нашим представлениям, являются аналогами чакырганских песков Мангышлака (палеоцен и нижний эоцен) *.

Семейство *Ostreidae*
Род *Liostrea* Douvillé, 1904
Секция *Labrostrea* Vialov, 1936

На внутренней поверхности нижней створки обособляется центральная, резко углубленная часть и боковые плоские поля. Тип. *L. labrum* Vial. ([1]).

Liostrea (*Labrostrea*) *labrum* sp. n. Маленькая раковинка с удлиненной, не сильно выпуклой нижней створкой, обладающей оттянутым задним краем. Макушка нижней створки маленькая, заостренная. Наиболее выпуклая часть створки находится ближе к переднему краю. Скульптура состоит из очень тонких правильных линий нарастания; в промежутках между ними, при достаточно

* Все помещенные в статье рисунки устриц сделаны В. Ф. Куракиным.

хорошей сохранности, можно видеть тонкие концентрические бороздки.

На внутренней поверхности резко обособляется центральная углубленная часть и боковое плоское поле, особенно широкое в нижней и задней части створки. В области развития этого плоского

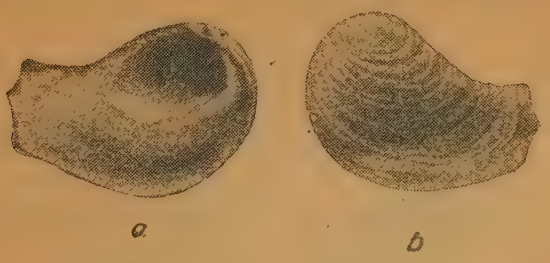


Рис. 1. *Liostrea* (*Labrostrea*) *labrum* sp. n. Нижняя створка: *a* — вид изнутри, *b* — вид снаружи. 1 : 1

поля раковина становится значительно утолщенной. Замочная площадка нависающая, уплощенная. Мускульный отпечаток очень слабый, повидимому округленный, помещается выше середины раковины и сильно сдвинут назад.

Правая створка очень тонкая, слабо выпуклая. Замочная площадка уплотненная, нависающая, откинутая наружу; центральная ее часть лишь слегка углубленная.

Наряду с типичными экземплярами (*L. labrum* var. *labrum* var. n.) выделяются две разновидности, связанные с типом постепенными переходами.

Первая из них — *Liostrea labrum* sp. n. var. *curta* var. n. (рис. 2) несколько более высокая и короткая. Передний и передне-нижний края ее левой створки более выпуклые. Максимальная выпуклость нижнего края находится на линии, перпендикулярной к замочному краю, в то время как у *L. labrum* var. *labrum* эта максимальная выпуклость нижнего края значительно смещена назад.

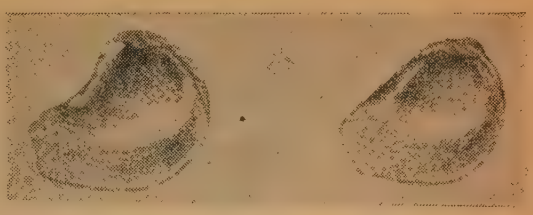


Рис. 2. *Liostrea* (*Labrostrea*) *labrum* sp. n. var. *curta* var. n. Нижняя створка, вид изнутри. 1 : 1

Рис. 3. *Liostrea* (*Labrostrea*) *labrum* sp. n. var. *plana* var. n. Нижняя створка, вид изнутри. 1 : 1

У второй разновидности — *Liostrea labrum* sp. n. var. *plana* var. n. (рис. 3) наружная поверхность лишь слабо выпуклая. Ее верхне-задний край почти прямой, в связи с чем находится бо́льшая ширина верхне-задней части плоского краевого поля внутренней поверхности.

Местонахождение: Туар-кыр, разрез 18 у родн. Джарык. Коллекция Б. А. Федоровича.

Род *Gryphaea* Lamarck, 1801
Секция *Phygraea* Vialov, 1936

Макушка слабо выпуклая, раковина резко несимметричная, с оттянутым задним краем. Тип: *Gr. frauscheri* Vial. (= *Gr. escheri* Frausch. non M.E.) [1].

Gryphaea (*Phygraea*) *transcaspia* sp. n. Маленькая узкая раковина, серповидной формы, сильно вытянутая и резко изогнутая назад,

выпуклая, с загнутой макушкой, позади которой иногда образуется небольшой ушковидный отросток. Наружная поверхность украшена мелкими концентрическими складками, образующимися путем соединения нескольких линий нарастания.

Внутренняя поверхность сильно углубленная. Срединное поле далеко не доходит до нижне-заднего края раковины. Поверхност-

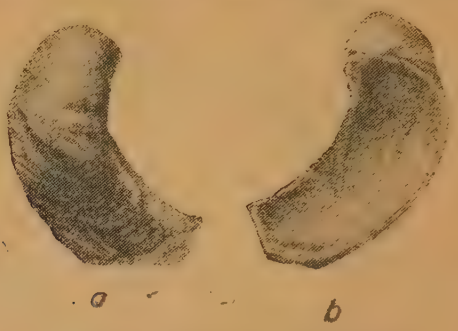


Рис. 4. *Gryphaea* (*Phygraea*) *transcaspia* sp. n. Нижняя створка: *a* — вид снаружи, *b* — вид изнутри. 1 : 1

ный неправильно округленный мускульный отпечаток едва заметен. Сравнительно высокая треугольная замочная площадка обычно несколько наклонена назад.

Верхняя створка неизвестна,

Местонахождение: Мангышлак, Чакырган, сл. 1. Коллекция М. В. Баярунаса.

Рис. 5. *Gryphaea* (*Circogryphaea*) *nomada* sp. n. Нижняя створка: вид снаружи. $^3/_4$: 1

Распространение: помимо Мангышлака *Gryphaea transcaspia* sp. n. известна еще в северо-западном окончании Б. Балхана (Иртык-бурун), откуда она была определена нами по сборам Н. П. Луппова.

Секция *Circogryphaea* Vialov, 1936.

Макушка необособленная, едва выступающая, раковина более или менее округленная, приближающаяся к симметричной. Тип: *Gr.*

sinzowi Netsch. (1). *Gryphaea* (*Circogryphaea*) *nomada* sp. n. Большая раковина, с нижней створкой, имеющей неправильно трапециодальные очертания; верхний край ее длинный, прямой, нижний край суженный. Створка чрезвычайно сильно вздутая, горбатая.

По обеим сторонам макушки находятся крыловидные отростки; они обычно отделяются от спинной поверхности ясным перегибом, иногда же переходят в нее довольно плавно.

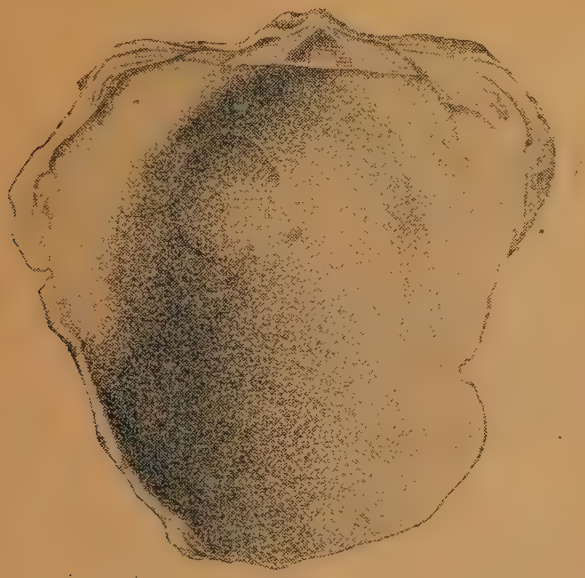


Рис. 6. *Gryphaea* (*Circogryphaea*) *nomada* sp. n. Нижняя створка: вид изнутри. $^3/_4$: 1

Скульптура состоит из неровных пластинчатых слоев нарастания. Макушка необособленная, едва выступающая над верхним краем.

Срединная сильно вогнутая внутренняя полость имеет овальную форму и разделяется на две части пологим валом, тянущимся от нижне-заднего к передне-верхнему краю. Мускульный отпечаток большой, неправильно округленный, у верхнего края заметно углубленный. Замочная площадка невысокая, треугольной формы. Слабо вогнутая лигаментная ямка шире, чем совершенно плоские боковые валики.

Верхняя створка весьма неровная, вогнутая, с приподнятыми передне- и задне-нижними краями, покрыта резкими неравномерными слоями нарастания. Лигаментная ямка заметно углубленная.

Местонахождение: Мангышлак, Чакырган, сл. 2. Коллекция М. В. Баярунаса.

Поступило
25 VIII 1944

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

[1] О. С. Вялов, ДАН, IV, № 1 (1936). [2] О. С. Вялов. Материалы Тадж. Пам. экспед. 1936, вып. XLVII. [3] О. С. Вялов, ДАН, XXVI, № 6 (1940). [4] Н. П. Луппов, Тр. ВГРО, в. 269 (1932).

Доклады Академии Наук СССР
1945. Том XLVIII, № 3

ЭКОЛОГИЯ

А. Н. ПОНОМАРЕВ

ОБ ОТНОСИТЕЛЬНОЙ СТЕНОТОПНОСТИ КАЛЬКОФИТОВ ФЛОРЫ СРЕДНЕГО УРАЛА В СВЯЗИ С ИХ РЕЛИКТОВЫМ ХАРАКТЕРОМ

(Представлено академиком В. Н. Сукачевым 9 XI 1944)

Калькофитная флора Среднего Урала представляет собой особую, эдафически и исторически обусловленную, реликтовую по своему происхождению, фацию местной флоры.

Она состоит в основном из элементов древней, вероятно третичной, горной флоры Урала, аркто-альпийских видов, форм сибирских светлохвойных лесов и лесостепного флористического комплекса. В ее составе особо выдающуюся роль играют виды восточного, в частности, сибирского и восточно-евразиатского, распространения. Они составляют в совокупности восточный континентальный элемент калькофитной флоры Среднего Урала, образуют ее основное ядро и определяют ее сибирский характер. Этот восточный континентальный элемент заключает главным образом борсально-, горно-, субальпийско- и альпийско-степные виды лесостепного флористического комплекса и ценоэлемент сибирских светлохвойных и мелколиственных лесов.

Калькофиты Уральской флоры в подавляющем большинстве лишь относительно стенотопны, обладают широким экологическим диапазоном на территории своего ареала и обнаруживают калькофильность только по периферии последнего, в экзойкических местонахождениях и в изолированных эксклавах. Калькофильность их условна и сомнительна, отнюдь не составляет автохтонного качества их экологической конституции, но представляет собой как бы новую и вторичную натуру этих видов, заслоняющую и искажающую их истинную и первоначальную экологическую сущность.

Калькофиты уральской флоры суть реликты-деградаанты, абсолютные и относительные, климатические и формационные, явные или потенциальные, впавшие в реликтовое состояние или двигающиеся по этому пути, вытесненные или вытесняемые из других стаций на известняки, сохранившиеся на них как в убежищах, утерявшие полностью или частично свои фитоценотические связи вследствие более или менее полной деградации обитаемых ими ценозов. Очень часто в пределах Урала они являются уже аценотическими видами, представляют собой как бы абортивные элементы исчезнувших или деградирующих реликтовых ценозов. В зависимости от степени стенотопности возможно различать в известковой флоре Среднего Урала обязательные и условные калькофиты. Они, как классификационные рубрики, суть только стадии формирования калькофитов, отображающие глубину реликтового состояния их и ход процессов деградации вида, ареала и соответствующих ценозов.

Обязательные калькофиты реликтового типа во флоре Среднего

Урала очень немногочисленны. Таковы, например, *Schivereckia podolica* s. l., *Agropyrum reflexiaristatum*, *Cryptogramma Stelleri*, *Asplenium viride*, *A. ruta muraria*, *Woodsia glabella*, *Dryopteris Robertiana*, *Cortusa altaica*.

Они имеют крайне сильно фрагментированные ареалы, являются абсолютными реликтами, повсеместно строго стенотопны (калькофитны) и аценотичны, так как повсюду утеряли, за исключением *Dryopteris Robertiana*, связи с ценозами современного растительного покрова.

Условные калькофиты представлены во флоре Среднего Урала прежде всего некоторыми горными петрофитными видами, например *Cystopteris fragilis*, *Palypodium vulgare*, *Parietaria micrantha*, *Polystichum lonchitis*, которые произрастают не только на известковых, но и на других субстратах. Этот ряд видов представляет пример последовательно все более значительного сужения эдафического и разрушения географического ареала и постепенной утраты фитоценотических связей.

Упомянутые выше обязательно и условно калькофитные виды могут рассматриваться, по нашему мнению, в качестве реликтовых элементов древней, вероятно третичной, горной флоры Урала. Трактовка калькофильности и петрофильности этих видов как следствия их реликтового состояния в данном случае довольно вероятна, но, однако, отнюдь не бесспорна, поскольку эти особенности их экологии вполне могут быть истолкованы в качестве свойств их экологической конституции. Наоборот, развиваемые здесь воззрения о реликтовом происхождении и относительной стенотопности калькофитов находят бо́льшую силу доказательств в лице светлохвойных таежных и лесостепных видов восточного континентального элемента и арктоальпийских форм калькофитной флоры Среднего Урала, относимых нами в составе последней к группе условных калькофитов.

Особенно демонстративны в этом отношении те бореально-, горно-, альпийско-степные и светлохвойно-таежные виды восточного континентального элемента, которые, будучи в Среднем Урале и В. Европе безусловно или преимущественно калькофитными и нередко аценотическими, сохранили в то же время в области экологического оптимума своих основных ареалов Сибири широкую экологическую амплитуду и ясные и разносторонние фитоценотические связи. Таковы, например, *Adonis sibiricus*, *Allium strictum*, *Allium rubens*, *Alyssum sibiricum*, *Artemisia frigida*, *Artemisia latifolia*, *Artemisia sericea*, *Aster alpinus*, *Aster sibiricus*, *Astragalus australis*, *Astragalus depauperatus*, *Aulacospermum multifidum*, *Bupleurum multinerve*, *Centaurea sibirica*, *Chrysanthemum sibiricum*, *Clansia aprica*, *Castilleja pallida*, *Dianthus acicularis*, *Dianthus nersicolor*, *Galatella fastigiata*, *Gypsophila altissima*, *Helictotrichon desertorum*, *Larix sibirica*, *Onosma simplicissimum*, *Oxytropis uralensis*, *Polygala sibirica*, *Saussurea propinqua*, *Scorzonera austriaca* ssp. *glabra*, *Seseli Ledebouri*, *Spiraea media*, *Thalictrum foetidum*, *Vicia milticaulis* и другие виды, имеющие сплошные, дизъюнктивные или эндемичные ареалы в пределах Урала. Сюда же, вероятно, относятся *Anemone silvestris*, *Carex pediformis*, *Pulsatilla patens*, *Veronica spicata* и др.

Эти виды характеризуются в Сибири широким экоареалом и ценозной жизнью, произрастают там, с той или иной вариацией круга обитаемых ими стаций, в светлохвойных сосновых и лиственничных лесах на песках, по опушкам их, в сухих негустых березовых колках, в горных и северных равнинных степях, в степных, иногда в солонцеватых лугах и луго-степях, на травянистых, в том числе степных и щебнистых, склонах холмов и гор и заходят, по крайней мере некоторые, по долинам и склонам в субальпийскую и альпийскую область последних. По периферии, в экзойкических местона-

хождениях и эксклавах западного, большей частью фрагментированного крыла ареала—в пределах Урала и на равнине В. Европы — эти эвритопные в Сибири виды суживают экоареал, становятся строго либо более или менее калькофитными, оказываются аценотическими или связаны здесь преимущественно с реликтовыми ценозами горных сосняков и каменистых степей, реже обитают в других ценозах современного растительного покрова. Они — относительные реликты и условные калькофиты, но лишь потому, что процесс деградации ареала, вида и обитаемых ими ценозов проявился не повсеместно, а только на западной окраине ареала. Калькофильность и реликтовое состояние у отдельных видов выражены в разной степени. Одни (*Anemone silvestris, Veronica spicata, Carex pediformis*) могут служить примером самой начальной стадии развития калькофильности, другие же, наоборот, могут рассматриваться как кандидаты в абсолютные реликты и обязательные калькофиты (например, *Chrysantemum sibiricum, Astragalus australis, Aster alpinus, Astragalus depauperatus* и др.).

Виды восточного континентального элемента калькофитной флоры Среднего Урала, упомянутые выше, являются вероятными реликтами флористического комплекса и фитоценозов холодной плейстоценовой сосново-лиственнично-березовой лесостепи в понимании И. М. Крашенинникова.

Калькофитная флора Среднего Урала и особенно Среднеуральской лесостепи заключает в своем составе, кроме того, еще многие другие степные виды широкого евразиатского, отчасти эупонтического и западно-евразиатского (*Astragalus falcatus, A. vimineus, A. austriacus*) распространения, которые в значительной своей части могут рассматриваться как ксеротермические реликты степной фазы голоцена.

Наконец, в калькофитной флоре Северного и северной части Среднего Урала довольно многочисленны аркто-альпийские виды (например, *Dryas punctata, Rhodiala rosea, Saxifraga caspitosa, S. cernua, Potentilla nivea* и др.), ютящиеся на экспонированных к северу влажных и холодных утесах. Они — несомненные гляциальные реликты и условные калькофиты, поскольку калькофильность у них обнаруживается лишь в экзойкических местонахождениях внеарктической и высокогорной областей, в результате перехода их в этих условиях в реликтовое состояние.

Таким образом, калькофитная флора Среднего Урала сформировалась в результате деградации ландшафтов плейстоценовой лесостепи, перигляциальных ценозов тундрового типа, степных ценозов ксеротермической фазы голоцена и аккумуляции их реликтовых элементов на известняках; кроме того, она заключает еще ряд более древних (третичных) реликтов горной флоры Урала, ландшафтно-ценотическая природа которых проблематична.

Калькофиты уральской флоры являются одновременно формационными и климатическими реликтами, поскольку деградация растительных ландшафтов вызывалась, в конечном счете, климатическими причинами. Эти реликты сделались калькофитами потому, что на утесах известняков они нашли для себя убежища благодаря особому микроклимату последних, имитирующему, в зависимости от экспозиции, условия либо континентального сухого и жаркого или, наоборот, холодного и влажного климата. Эти реликты сделались калькофитами также потому, что их сохранению на известняковых утесах благоприятствовало отсутствие или ослабленность здесь конкуренции. Следовательно, «калькофильность» их условна, не является качеством их экологической конституции, а есть следствие реликтового состояния и сохранения их на известняковых утесах, выступающих в качестве их рефугиумов.

Развитая здесь концепция о реликтовом происхождении калькофитов предполагает двойственную природу эдафического эндемизма. Она допускает возможность происхождения эдафических эндемов, в частности обязательных калькофитов, не только путем систематического обособления новых форм в результате адаптации и связанного с ней активного видообразовательного процесса (эдафические неоэндемы меловой флоры юга европейско-русской равнины), но также и путем глубочайшей деградации видов в результате сокращения эдафического и географического ареалов их и разрушения обитаемых ими ценозов.

Эти виды, сделавшись аценотическими и дизъюнктивно-ареальными и сохранившись только в определенных эдафических условиях, например на известковых субстратах, выступают в таком случае в качестве эдафических палеоэндемов калькофитной флоры, представленных обязательными калькофитами реликтового типа.

Молотовский государственный университет

Поступило
8 XI 1944

Доклады Академии Наук СССР
1945. Том XLVIII, № 3

ФИЗИОЛОГИЯ РАСТЕНИЙ

Т. Т. ДЕМИДЕНКО

ВЛИЯНИЕ ГРАНУЛИРОВАННОГО СУПЕРФОСФАТА НА УРОЖАЙ РАСТЕНИЙ ПРИ ВНЕСЕНИИ ЕГО В РЯДКИ СОВМЕСТНО С СЕМЕНАМИ

(Представлено академиком А. А. Рихтером 3 VIII 1944)

Известно, что большинство культурных растений в молодом возрасте усиленно поглощает фосфорную кислоту, которая принимает весьма деятельное участие в росте и развитии их, входя в состав самых сложных нуклеопротеиновых соединений.

Многие мелкосеменные культуры жадно реагируют на содержание фосфорной кислоты в почве в силу следующих причин: при появлении всходов потребность у них в фосфорной кислоте очень велика, а запасы ее в семенах весьма ограничены. Молодой проросток сразу не может получить ее в больших количествах, особенно, если она находится в почвенном растворе в минимуме. Поэтому внесение суперфосфата в гранулах сопровождается аккумуляцией фосфорной кислоты в одной точке, откуда корневой волосок черпает необходимое для него питание.

В настоящее время существует два метода обогащения семян и проростков питательными веществами: метод Гусева и метод Авдонина. Метод Гусева состоит в обогащении семян фосфорной кислотой путем приклеивания ее к семенам. Метод Авдонина основан на предварительном насыщении индифферентного материала (опилки, шелуха риса, проса и гречихи) водной вытяжкой из удобрений; при дальнейшей обработке его фосфатами он дает гранулы, которые после высушивания смешиваются с семенами при посеве.

В качестве среды нами были взяты свежие сухие буковые опилки. Так как водная вытяжка из суперфосфата обычно бывает кислая, то ее необходимо нейтрализовать мелом с доведением до нейтральной реакции. В противном случае семена не дают даже всходов, а если они кое-где появляются, то быстро погибают от повышенной кислотности.

Опыты проводились на Закатальской опытной станции в АзССР.

Так как по биометрическим показателям накопилось довольно много материала, то для ясности приведем данные только за два срока, а именно: за время цветения и полного созревания (табл. 1).

Из полученных данных видно, что у проса и кунжута при цветении наблюдалась значительная эффективность внесения фосфорной кислоты.

Наиболее высокие темпы роста проявили растения, получившие 10 кг/га P_2O_5 в рядки; на втором месте находятся растения, выросшие на фоне 45 кг/га P_2O_5, внесенной в виде гранулята; на третьем месте следуют растения, удобренные 45 кг/га P_2O_5; на четвертом месте — 5 кг/га P_2O_5, полученной растениями в виде гранулята в рядки при посеве, и на последнем месте следуют растения, удобренные 15 кг/га P_2O_5 в виде простого и гранулированного суперфосфата.

Таблица 1

Влияние простого и гранулированного суперфосфата на динамику роста и развития проса и кунжута

Схема опыта	Высота растения в см			
	просо		кунжут	
	при цветении	при созревании	при цветении	при созревании
Без удобрения	39,2	50,3	35,4	46,4
5 кг/га P_2O_5, внесенной в рядки в виде гранулированного суперфосфата	44,4	52,2	37,8	49,5
10 кг/га P_2O_5, внесенной в рядки в виде гранулированного суперфосфата	49,4	59,5	39,5	51,2
15 кг/га P_2O_5, внесенной в рядки в виде гранулированного суперфосфата	48,5	58,5	38,6	50,5
15 кг/га P_2O_5, внесенной вразброс в виде простого суперфосфата	42,4	52,4	36,5	49,6
15 кг/га P_2O_5, внесенной вразброс в виде гранулированного суперфосфата	43,6	53,4	38,4	50,5
45 кг/га P_2O_5, внесенной вразброс в виде простого суперфосфата	46,5	57,5	39,4	51,3
45 кг/га P_2O_5, внесенной вразброс в виде гранулированного суперфосфата	48,2	58,5	40,2	52,4

Анализ биометрических показателей, полученных по всем вариантам опыта, показывает, что зарядка, приобретенная растениями под влиянием P_2O_5 при появлении всходов, сохраняется в течение всего периода вегетации. Это объясняется главным образом тем, что фосфорная кислота, бывшая в почве в минимуме, продолжала положительно влиять на рост растений вплоть до созревания.

В заключение необходимо отметить следующее: фосфорная кислота, давая различную физиологическую зарядку растениям в молодом возрасте, продолжает действовать до полного созревания их.

Созревание растений на всех делянках происходило весьма дружно и одновременно ввиду того, что они поглотили достаточное количество фосфорной кислоты, которая ускоряла созревание проса, кунжута и масличного льна.

В течение периода вегетации под растениями определялись нитраты, фосфаты и pH. Наблюдения за динамикой нитратов показали, что они оставались под растениями до цветения, после чего стали исчезать.

На всех делянках, при всех сроках взятия проб были обнаружены довольно близкие количества NO_3, что указывает на тот факт, что фосфорная кислота оказывает незначительное влияние на процессы нитрификации.

Благодаря культурному состоянию почвы и высокому плодородию ее удалось создать благоприятные условия для накопления нитратов, вследствие чего растения в молодом возрасте имели их значительное количество. Что же касается динамики фосфорной кислоты почвы на различно удобренных делянках, то особенно много ее было обнаружено при всех сроках взятия на делянках, куда было внесено 15 кг/га P_2O_5 в рядки с семенами. Много было также найдено фосфорной кислоты на делянках, куда был внесен суперфосфат вразброс в количестве 45 кг/га P_2O_5.

Значительно меньше оказалось фосфорной кислоты на делянках, получивших P_2O_5 в рядки в количестве 5 и 10 кг/га. На последнем месте находятся данные по фосфору на делянках, получивших вразброс по 15 кг/га P_2O_5 в виде простого и гранулированного суперфосфата.

Данные по динамике водорастворимой P_2O_5 показали, что количе-

ство ее уменьшается под влиянием растений благодаря потреблению ее просом, кунжутом и льном.

Актуальная кислотность pH мало менялась под растениями за период вегетации благодаря высоким буферным свойствам почвы. Созревание растений происходило в довольно жестких условиях: погода стояла сухая и жаркая, распределение пластических веществ происходило на всех делянках не совсем благоприятно. Урожайные данные по всем культурам представлены в табл. 2.

Таблица 2

Влияние простого и гранулированного суперфосфата, внесенного при посеве с семенами, на урожай растений

Схема опыта	Урожай проса		Урожай кунжута		Урожай льна	
	ц/га	в процентах	ц/га	в процентах	ц/га	в процентах
Без удобрения	7,05	100	3,30	100	8,14	100
5 кг/га P_2O_5, внесенной в рядки в виде гранулированного суперфосфата	7,87	111,6	3,76	113,9	8,94	109,8
10 кг/га P_2O_5, внесенной в рядки в виде гранулированного суперфосфата	8,70	123,4	3,93	119,0	9,63	118,2
15 кг/га P_2O_5, внесенной в рядки в виде гранулированного суперфосфата	8,77	124,4	3,95	119,7	9,75	119,7
15 кг/га P_2O_5, внесенной вразброс в виде простого суперфосфата	7,67	108,8	3,58	108,5	—	—
15 кг/га P_2O_5, внесенной вразброс в виде гранулированного суперфосфата	7,82	110,9	3,67	111,2	—	—
45 кг/га P_2O_5, внесенной в виде простого суперфосфата	8,42	119,4	3,80	115,2	9,43	115,9
45 кг/га P_2O_5, внесенной в виде гранулированного суперфосфата	8,6	121,9	3,96	120,0	9,92	121,8

Из представленных данных видно, что все три культуры, бывшие в опыте, положительно реагируют на внесение фосфорной кислоты. Положительная реакция этих растений на фосфор обусловливается тем, что этот элемент находится в данной почве в недостаточном количестве.

Лен положительно реагировал на внесение простого и гранулированного суперфосфата, так же как просо и кунжут.

Касаясь эффективности рядового внесения гранулированного суперфосфата, следует заметить, что при метеорологических условиях текущего года на данной почве наблюдается большой эффект при внесении 10 кг/га P_2O_5. Внесение 15 кг/га сопровождается примерно таким же эффектом, как и 10 кг, что можно отнести за счет сухого лета, когда в почве было мало влаги и создавалось повышенное осмотическое давление почвенного раствора, которое вызывало угнетение растений. Доза в 5 кг/га дала меньшую прибавку, чем 10 кг/га.

Разбросное внесение 15 кг/га P_2O_5, внесенной в виде простого и гранулированного суперфосфата, оказалось менее эффективным, чем 5 кг гранулированного суперфосфата, внесенного в рядки.

Внесение суперфосфата в количестве 45 кг/га P_2O_5 оказало значительное влияние на урожай проса, кунжута и льна масличного, причем эффект по гранулированному суперфосфату получился несколько выше, чем по простому суперфосфату.

Проведенные опыты по внесению гранулированного суперфосфата в рядки под просо, кунжут и лен масличный позволяют сделать следующие выводы:

1. При внесении в рядки гранулированного суперфосфата установлено положительное влияние его на рост и развитие растений.

2. Физиологическая зарядка, полученная растениями в молодом возрасте и дающая им различные темпы роста и развития, сохраняется в течение всего периода вегетации, что ярко отражается на высоте растений, измеряемой во время цветения и созревания.

3. Исследования динамики фосфорной кислоты под растениями показали, что наибольшее количество ее было обнаружено в рядках при дозе в 15 кг/га P_2O_5, второе место занимает доза в 10 кг, на третьем месте следует вариант с 5 кг/га P_2O_5.

4. При разбросном внесении 45 кг/га P_2O_5 обнаружено на делянках меньше фосфорной кислоты, чем при рядовом внесении.

5. Из всех способов внесения суперфосфата наиболее эффективным и экономически выгодным оказался рядовой при дозе 10 кг/га P_2O_5, внесенной в рядки вместе с семенами.

6. Коэффициент использования фосфорной кислоты резко повышается при внесении ее в рядки вместе с семенами в виде гранулированного суперфосфата.

Поступило
25 VII 1944

Доклады Академии Наук СССР
1945. Том XLVIII, № 3

ФИЗИОЛОГИЯ РАСТЕНИЙ

К. СУХОРУКОВ и Б. СТРОГОНОВ

О ДЕЙСТВИИ ГЕТЕРОАУКСИНА НА КЛЕТКИ В СВЯЗИ С ЗАБОЛЕВАНИЯМИ РАСТЕНИЯ

(Представлено академиком А. А. Рихтером 10 X 1944)

Существует несколько точек зрения на механизм действия гетероауксина и подобных ему веществ на растительную клетку. Считается, что ауксины увеличивают пластическую растяжимость наружной оболочки клетки, повышают осмотическое давление, действуют непосредственно на плазму, изменяют способность клетки поглощать воду и растворенные соли ([1–3]). Eyster ([8]) делает оригинальные предположения о том, что ауксины действуют на клетку через торможение и активирование ферментов в присутствии адсорбентов.

Изложенные точки зрения не исключают друг друга и теоретически приложимы к клеткам высших и низших растений, хотя физиологическое действие ауксинов на те и другие растения, как известно, существенно различно.

Образованию и накоплению ауксинов в клетках нормального и больного растений сопутствует обычно накопление гормонов клеточного деления или веществ биоса. Вещества биоса в клетках растений находятся или в связанном состоянии с клеточными белками или в свободном ([2], [7]). Между веществами биоса и белками могут создаваться прочные связи, разрыв которых наступает при глубоко идущих процессах распада белка. Свойство биоса абсорбироваться клетками положено N. Nielsen и Hartelius в основу метода выделения его путем выбалтывания из растворов дрожжами ([10]). В жизни клетки вещества биоса имеют какое-то важное значение, особенно в периоды деления и роста. Паразитарные организмы, как и большинство организмов с гетеротрофным питанием, требуют для своего развития готовых веществ биоса, и гормональный фактор или дополнительные вещества их питания в проявлениях иммунитета организмов начинают обоснованно привлекать внимание исследователей. Ауксины типа гетероауксина вырабатываются грибами и бактериями ([1]), но их значение в физиологии этих организмов остается неясным, происхождение же связывается с азотистым обменом, с формой азотистого питания, с превращением некоторых аминокислот. Ненормальности в росте растений, вызываемые болезнетворными грибками и бактериями, сейчас связываются с выделениями паразитами ауксинов; это и не может вызывать больших сомнений, но остается мало понятным физиологическое назначение подобных выделений и их воздействий. Мы предполагаем, что через выделение ауксинов паразиты изменяют распределение по тканям других гормонов, важных для их питания и роста. К таким же предположениям о значении ауксинов приходит и Cooper на основании своих работ по действию гетероауксина на корнеобразование ([6]). Он считает, что индолуксусная кислота вызывает передвижение других веществ внутри растения, которые необходимы для корнеобразования.

Для проверки своего предположения мы поставили несколько опытов. Из коровой части корня моркови вырезались пластинки размером 45 × 15 × 2 мм. После промывания в воде пластинки наполовину погружались вертикально в растворы гетероауксина (синтетическая индолуксусная кислота с концентрацией в процентах: 0,01, 0,1 и 1,0). Гетероауксин растворялся в 95% спирте и потом разбавлялся водой (соотношение спирта и воды в объемах 5 : 95). Через 24 часа пластинки вынимались, ополаскивались водой, разрезались по месту погружения на «низ» — погруженную часть и «верх» — непогруженную; разделенные пластинки измельчались в ступке, из растертой массы готовился отвар, который процеживался, несколько раз выбалтывался чистым серным эфиром и доводился водой в мерной колбе до соотношения навески и воды 1 : 2. Отвары испытывались на содержание биоса введением 1 см³ на 20 см³ среды Гайдука, засеянной однородной взвесью дрожжей (*Saccharomyces cerevisiae*, Саратовская раса от д-ра А. Р. Вернера). Засеянные колбы оставлялись при 18° С на 80 часов, остановка роста дрожжей достигалась перенесением колб в холодильник. Учет проводился по сухому весу дрожжей после фильтрования содержимого колб через тигли с стеклянным фильтром подходящей плотности. Результаты первого и второго опытов представлены в табл. 1 и третьего опыта — в табл. 2.

Таблица 1

Содержание биоса в моркови после обработки гетероауксином
(по сухому весу дрожжей в мг)

Концентрация гетероауксина	Низ	Верх	$\frac{\text{Верх}}{\text{низ}} \times 100$
I опыт			
Контроль (95 см³ воды, 5 см³ 95% спирта)	24	24,4	101,6
0,01%	21,5	33,5	155,8
0,1%	4,5	27,4	609,0
1,0%	6,5	22,5	346,1
II опыт			
Контроль (95 см³ воды, 5 см³ 95% спирта)	33,4	43,7	113,8
0,01%	40,0	47,4	118,5
0,1%	10,8	32,0	295,4
1,0%	16,3	45,4	278,5

В табл. 2 представлены данные исследований экстрактов на содержание биоса до и после обработки их животным углем (30 г угля на 100 см³ экстракта, взбалтывание 15 мин., фильтрование и промывка водой с доведением до исходного объема). Там же приведены данные о диффузии биоса из опытных отрезков моркови в примененные жидкости. Количество введенной жидкости в среду для дрожжей соответствовало навеске моркови 0,3 г, или 1 см³ отвара.

Как видно из приведенных цифр, гетероауксин изменяет распределение биоса в тканях. Возможно, что это действие связано с ядовитыми свойствами гетероауксина и изменением клеточных коллоидов, так как и под влиянием спирта (контроль) наблюдается заметное (1,6—32,1%) передвижение биоса. Биос способен к диффузии из клеток, причем гетероауксин ускоряет диффузию, повидимому, через повышение проницаемости плазмы живых клеток. Под влиянием гетероауксина на-

Таблица 2

Содержание биоса в моркови после обработки экстрактов животным углем; биос, диффундировавший в жидкости (по сухому весу дрожжей в мг)

Исследованные объекты	Низ	Верх	$\frac{\text{Верх}}{\text{низ}} \times 100$
III опыт			
Без обработки животным углем			
Морковь контроль (95 см³ воды, 5 см³ 95% спирта)	21,5	28,4	132,1
Морковь в 0,1% гетероауксине	16,4	33,8	206,1
С обработкой животным углем			
Морковь контроль	0,4	6,2	1 550
Морковь в 0,1% гетероауксине	0,8	2,5	312,5
Диффузия биоса из моркови			
В 95 см³ воды + 5 см³ 95% спирта	2,4	—	—
В 0,1% гетероауксине	3,8	—	—

блюдается передвижение веществ биоса, легко и трудно абсорбируемых углем (табл. 2), т. е. вне зависимости от их поверхностной активности.

Под названием биос мы подразумеваем не какое-то индивидуальное и определенное химическое соединение, но совокупность веществ, необходимых клетке при ее гетеротрофном питании в небольших количествах, в виде дополнительных веществ питания. В последние годы, когда тонкие химические методы позволили значительную часть веществ группы биоса окончательно распознать, слово «биос» постепенно сходит со страниц биологической литературы, сохраняя в значительной степени историческое значение. Мы полагаем, что биос в вышеизложенном понимании имеет достаточно определенный физиологический смысл, и изменения его количества позволяют судить о состояниях клетки и взаимоотношениях с внешней средой. В последнее десятилетие в СССР было опубликовано много физиологических исследований по биосу (гормонам клеточного деления), но значительная часть русских работ прошла мимо внимания западных исследователей, что сейчас видно из установления новых закономерностей и понятий (⁹), уже известных у нас.

Действие гетероауксина на передвижение других веществ нами подробно не изучалось, были сделаны единичные определения по азотистым веществам, результаты которых мы приводим ниже. Определен общий азот по Кьельдалю в коре корня моркови, обработанной по ранее описанному способу 0,1% гетероауксином. Содержание азота рассчитано в мг на 100 г сырого материала.

	Низ	Верх
В 0,1% гетероауксине	82	79
Контроль (вода+спирт)	80	82

Изменения в содержании азотистых веществ не наблюдается. В группу веществ биоса входят и азотистые вещества, но, само собой понятно, азота в них так мало, что влиять на общее содержание он не может.

Итак, гетероауксин может вызывать в тканях растения перераспределение гормонов клеточного деления. Можно предполагать, что и паразиты через выделение ауксинов также изменяют распределение гор-

монов клеточного деления в больном растении и создают себе благоприятные условия для питания и роста.

Поступило
10 X 1944

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

[1] П. Бойсен-Иенсен, Ростовые гормоны растений, перевод с англ. под ред. Н. А. Максимова, 1938. [2] К. Сухоруков, Е. Клинг и Д. Клячко, ДАН, **1**, 524 (1935). [3] Am. J. bot., **24**, 734 (1937). [4] B. Commoner and D. Mazia, Pl. Physiol., **17**, 682 (1942). [5] B. Commoner, S. Fogel and W. H. Muller, Am. J. bot., **30**, 23 (1943). [6] W. C. Cooper, Bot. Gaz., **99**, No. 3 (1938). [7] J. Dagys, Protopl., **28**, 205 (1937); **31**, 524 (1938). [8] H. C. Eyster, Science, **97**, 358 (1943). [9] K. Hofmann, Adv. in Enzymology, **3**, 289, N. Y, (1943). [10] N. Nielsen u. U. Hartelius, C. R. trav. labor. Carlsb., Sér. physiol., **22**, No. 17 (1938).

Доклады Академии Наук СССР
1945. Том XLVIII, № 3

ФИТОПАТОЛОГИЯ

А. М. ВОВК

МОЗАИЧНАЯ БОЛЕЗНЬ БОБОВЫХ

(Представлено академиком А. А. Рихтером 31 XII 1944)

В Европе, Америке, Азии и Австралии широко распространены вирусные заболевания бобовых. Для фасоли, сои, арахиса и других бобовых вирусные болезни весьма вредоносны ([1,5,6,11–19,21,22]). Большинство вирусов бобовых передается различными видами тлей и инокуляцией соком. Некоторые из них передаются семенами, как например, *Phaseolus* virus 1 Pierce и мозаика сои. Ряд вирусов можно передать только прививкой ([1,2,5–7,13–17,21,22]). Вирусные болезни бобовых с классификационной стороны разработаны еще недостаточно ([5–7,15,17,21,22]). В СССР отмечены вирусные болезни на фасоли, сое, посевном горохе, арахисе и на кроталярии ([1–5,8,9]). В 1941 г. Рыжков в Уфе обнаружил мозаичную болезнь на люцерне (не опубликовано).

Дунин, Якимович и Козлова показали, что особенно сильно страдают от вирусов фасоль и соя. По их данным, фасоль и соя нередко бывают поражены на 100% мозаикой ([1,2,4,9,10]). Однако, несмотря на большое хозяйственное значение вирусных заболеваний бобовых, только мозаика сои детально изучалась. Якимович установила, что мозаичная болезнь сои передается различными видами тлей и инокуляцией соком, а также семенами([9,10]).

По остальным же вирусным болезням, обнаруженным на бобовых, работа еще не начата. Совершенно отсутствуют вирусологические и классификационные данные, а также не выяснены способы распространения этих болезней. Мозаичная болезнь фасоли, которую Ивановский отметил еще в 1902 г., осталась до сих пор вне внимания исследователей ([3]).

В 1940 г. мы под Москвой на участке Всесоюзной сельскохозяйственной выставки обнаружили массовое распространение мозаичной болезни на фасоли, сое, посевном горохе, душистом горошке и бобах (*Vicia faba*). Болезнь на листьях фасоли проявлялась в виде светлозеленой мозаики и гофрированности. Нередко пораженные листья становились хлоротичными с разбросанными зелеными пятнами. Болезнь вызывала задержку роста растений и измельчание бобов. При мозаичном заболевании сои нами отмечены симптомы, сходные с описанными Якимович. У гороха (*Phaseolus sativus*) болезнь проявлялась в посветлении по ходу нервов листьев, в слабой деформации, а также в незначительном подавлении роста.

Такие же симптомы были развиты на душистом горошке (*Lathyrus odoratus*).

У бобов (*Vicia faba*) болезнь на листьях проявлялась слабой мраморной мозаичностью. Иногда растения, пораженные мозаикой, были подавлены в росте и имели измельченные листья. В 1943 г. в окрестностях г. Фрунзе (Киргизская ССР) мы наблюдали мозаичную болезнь на фасоли, сое, люцерне и клевере.

Нами были поставлены опыты по перенесению мозаичного заболевания бобов, посевного гороха и душистого горошка на некоторые виды бобовых при помощи тлей и инокуляцией соком.

В опытах с тлями участвовали половозрелые и личиночные формы *Myzodes persicae*. Работа проводилась в условиях изоляции в оранжерее. Тли брались со здорового табака и подсаживались на мозаичные растения гороха и бобов, где они содержались от 5 до 17 часов, а затем переносились на здоровые проростки гороха, фасоли и бобов. Для этого мы применяли стеклянные трубочки с открытыми концами, которые надевали на листочки растений и отверстия закрывали ватой. На растение помещалась одна трубочка с 10—20 тлями.

Для контроля часть тлей подсаживалась на здоровые растения без подкормки на мозаичных растениях. Кроме того, были контрольные растения гороха, фасоли и бобов, на которые тли не подсаживались. Указанным способом удалось получить заражение. Болезнь проявлялась через 11—17 дней после внесения инфекции тлями. Этим способом мозаика бобов была перенесена на бобы, горох и фасоль. У бобов болезнь проявлялась в виде слабой светлозеленой мозаики листьев, а у гороха и фасоли она вызывала посветление по ходу нервов листа и появление зеленых и желтых пятен.

Вирус мозаичной болезни посевного и душистого гороха легко передавался тлями растениям бобов, гороха и фасоли. У гороха и бобов вначале болезнь проявляется резко выраженным посветлением по ходу нервов листа, а затем появляются зеленые и желтые пятна, а у фасоли она вызывала светлозеленую мозаику. Контрольные растения бобов, гороха и фасоли остались здоровыми (табл. 1).

Таблица 1

Опыты по инфицированию различных бобовых

Источник инфекции	Культура	Сорт	Число растений в опыте	Заболевших растений
Мозаичные бобы	Бобы	Черноруссские	11	5
	Горох	Ростовский	10	2
	Фасоль	Вильгем	10	7
Мозаичный посевной горох	Бобы	Черноруссские	10	9
	Горох	Ростовский	10	4
	Фасоль	Вильгем	10	2
Мозаичный душистый горошек	Бобы	Черноруссские	8	2
	Горох	Ростовский	13	4
—	Бобы контрольные	Черноруссские	19	—
—	Горох контрольный	Ростовский	40	—
—	Фасоль контрольная	Вильгем	10	—

Мозаичная болезнь бобов была передана инокуляцией соком бобам и посевному гороху, на фасоль же ее не удалось передать. Соком мозаики посевного гороха были заражены бобы, горох, фасоль, а мозаика душистого горошка передана на посевной горох. Симптомы заболевания у бобов и гороха появлялись в виде посветления по ходу нервов листа и светлозеленой мозаики, а у фасоли на листьях болезнь выражалась только в появлении светлозеленой мозаики. Болезнь проявлялась через 12—16 дней после заражения. Заболевшие растения обычно отставали в развитии (табл. 2).

Таблица 2

Передача мозаичной болезни бобовых соком

Источник инфекции	Культура	Сорт	Число растений в опыте	Заболевших растений
Сок мозаичных бобов	Бобы	Конские	9	5
	Горох	Ростовский	9	6
	Фасоль	Триумф	9	—
Сок мозаичного посевного гороха	Бобы	Конские	8	5
	Горох	Ростовский	20	2
	Фасоль	Триумф	10	7
Сок мозаичного душистого горошка	Горох	Ростовский	12	2
	Бобы контрольные	Конские	10	—
	Горох контрольный	Ростовский	10	—
	Фасоль контрольная	Триумф	20	—

Повидимому, мозаичную болезнь посевного гороха, душистого горошка и бобов вызывает *Pisum* virus 2 Doolittle and Jones (по номенклатуре K. Smith'a), так как она, так же как и *P.* virus 2, легко передается тлями и соком, поражает горох, фасоль и бобы и проявляется в виде симптомов, сходных с симптомами *P.* virus 2.

Как известно, *Cucumis* virus 1 Doolittle может поражать различные виды бобовых ([7],[17],[20]). Поэтому, чтобы выяснить вопрос, не вызывается ли обнаруженная мозаичная болезнь на бобовых огуречным вирусом, мы провели опыты по перенесению мозаики бобов и гороха тлями и соком на проростки огурцов. Эти опыты показали, что мозаичная болезнь бобов и гороха не вызывает заболевания у огурцов, следовательно, она не идентична с огуречным вирусом.

При попытках перенести тлями и соком мозаичную болезень бобов и гороха на табак и *Nicotiana glutinosa* был получен также отрицательный результат.

В целях борьбы с вирусными болезнями зернобобовых культур, учитывая передачу вирусов тлями, необходимо проводить истребительные мероприятия против тлей — переносчиков мозаики бобовых. Кроме того крайне важна селекционная работа по выделению сортов, устойчивых к мозаичным болезням бобовых.

Chamberlain установил иммунитет целого ряда сортов гороха к мозаичной болезни ([12]).

Лаборатория вирусных болезней растений
Института микробиологии Академии Наук СССР

Поступило
31 XII 1944

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

[1] М. С. Дунин, ТР. ВАСХНИЛ'а, 5 (1936). [2] М. С. Дунин, Вирусные болезни сельскохозяйственных растений, М., 1937. [3] Д. И. Ивановский, Мозаичная болезнь табака, Варшава, 1902. [4] В. И. Козлова, Вирусные болезни растений, Сборник № 2, М. 1938. [5] В. Л. Рыжков, Вирусные болезни растений, М., 1935. [6] В. Л. Рыжков, Природа фильтрующихся вирусов и вирусные болезни растений, изд. АН СССР, 1939. [7] В. Л. Рыжков, Информационный бюллетень новой литературы по вирусным болезням растений, № 1, 2 и 3. [8] Е. М. Эристави, Труды совещ. по вирусн. бол. раст., изд. АН СССР, 1941. [9] Е. К. Якимович, Вирусные болезни сои, НИИ север. зерн. хоз., 3 (1938). [10] Е. К. Якимович, Вирусные болезни растений, Сборник № 2, М., 1935. [11] G. C. Ainsworth, Ann. Appl. Biolog., **27**, 2 (1940). [12] E. E. Chamberlain, N. Z. J. Sci. Tech., **21**, A. No. 3 (1938). [13] F. Johnson and K. Jones, J. Agr. Research, 54, 8 (1937). [14] H. T. Osborn, Phytopathology, **27**, 5 (1937). [15] W. H. Pierce, J. Agr. Research, **51**, 11 (1935). [16] W. H. Pierce, Phytopathology, **27**, 8 (1937). [17] K. M. Smith, Textbook of plant virus diseases, 1937. [18] M. W. Stubbs, Phytopathology, **27**, 3 (1937). [19] J. L. Weimer, J. Agr. Research, **53**, 5 (1936). [20] O. C. Whipple, J. Agr. Research, **62**, 1 (1941). [21] W. J. Zaumeyer and B. L. Wade, J. Agr. Research, **51**, 8 (1935). [22] W. J. Zaumeyer and B. L. Wade, J. Agr. Research, **53**, 3 (1936).

Доклады Академии Наук СССР
1945. Том XLVIII, № 3

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ МОРФОЛОГИЯ

Л. В. ПОЛЕЖАЕВ

ХИМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ВОССТАНОВЛЕНИЯ РЕГЕНЕРАЦИОННОЙ СПОСОБНОСТИ КОНЕЧНОСТЕЙ У ГОЛОВАСТИКОВ

(Представлено академиком А. А. Заварзиным 8 II 1945)

В прежних наших работах удавалось возобновить или продлить регенерационную способность конечностей у головастиков бесхвостых амфибий при помощи различных методов: травматизации ([2], [3], [5]), трансплантации ([7]), регенерации ([2], [3]), повторной ампутации ([8]). Во всех случаях имела место сильная дедифференцировка тканей мезодермального происхождения в остатке органа, освобождение и накопление клеточного материала на ампутационной раневой поверхности и образование регенерационной бластемы. Недавно была опубликована интересная работа Роза ([9]), которому удалось возобновить регенерационную способность конечностей у взрослых лягушек при помощи химического метода — обработки ампутированных органов насыщенным раствором хлористого натрия. В своей краткой статье автор не описывает изменения в тканях, вызванного действием соли. Естественно, что новый метод Роза возбудил интерес, в связи с чем я применил его в своих опытах над взрослыми лягушками и над головастиками. О результатах опытов над лягушками будет сообщено в особой статье, а результаты опытов над головастиками сообщаются ниже. Опыты над головастиками были проведены потому, что у них процесс регенерации идет очень быстро и потому, что результаты можно сравнить с данными, полученными при помощи наших методов, упомянутых выше. Таким образом можно сравнить эффективность нового и старых методов.

Метод Роза мог быть эффективен по крайней мере по двум причинам. Во-первых, вследствие специфичности химического воздействия и, во-вторых, вследствие длительности воздействия — до 2 месяцев, тогда как в наших прежних опытах с травматизацией, трансплантацией и др. воздействие было кратковременным, однократным. Для проверки первого обстоятельства исследовались различные химические факторы: соль (NaCl), глюкоза, иод и кислота, а результаты исследования сравнивались с данными опытов по травматизации и трансплантации. Для проверки второго обстоятельства были проведены опыты продолжительной, повторной (4-кратной) травматизации на стадии II*b*.

Методы воздействия химическими факторами применялись в 2 вариациях: 1) путем индивидуальной обработки и 2) путем тотальной обработки. В первом случае у головастика ампутировались обе задние ножки. Левая дальнейшей обработке не подвергалась и служила контролем, правая в течение 1—4 минут подвергалась химическому воздействию. В тонкий стеклянный капилляр набиралась испытуемая жидкость и конец капилляра прикладывался к ампутационной раневой поверхности. В опытах с иодом последняя смазывалась приготовленным раствором иода. Индивидуальная обработка производилась 1—2 раза в сутки, всего 4—5 раз в течение опыта. При тотальной обра-

ботке у животного ампутировалась только правая задняя ножка. Контрольные животные помещались в воду, подопытные — в раствор испытуемого химического фактора на срок всего до 260 часов. Однако в течение опыта животные попеременно помещались в растворы и в воду. Непрерывно они находились в растворе от 7 до 24 часов.

Для опыта были взяты следующие химические факторы:

хлористый натрий (NaCl): насыщенный раствор для индивидуальной обработки и 0,5% раствор (толерантная концентрация) для тотальной обработки;

иод — 10% спиртовой раствор иода для индивидуальной обработки;

кислота (HNO_3) — 10% раствор дымящейся азотной кислоты в воде для индивидуальной обработки;

глюкоза — 5% раствор для тотальной обработки;

колхицин — раствор 1 : 1000.

Головастики *Rana temporaria* были взяты на стадии I, когда задние конечности сохраняют свою регенерационную способность, и на стадиях II*a*, II*b*, III*a*, когда последняя утрачена ([4]). Учитывая значение уровня ампутации ([4], [10]), конечности во всех экспериментах ампутировались в проксимальной части голени.

При индивидуальной обработке положительными результатами считались случаи преобладания регенерации подопытной ножки по сравнению с контрольной, отрицательными — случаи преобладания регенерации контрольной ножки по сравнению с подопытной. При тотальной обработке положительными результатами считались случаи регенерации в опыте, отрицательными — случаи регенерации в контроле. В обоего рода опытах общим положительным результатом считались случаи, составляющие разницу между положительными и отрицательными результатами. Данные по микроскопическому исследованию будут сообщены в отдельной статье. Макроскопические результаты приведены в табл. 1 и 2.

При восстановлении регенерационной способности на стадии II*a* общий положительный результат регенерации в наших прежних опытах с однократной травматизацией достигал 52,1% ([5]), в опытах с трансплантацией 60,0% ([7]), а в предлагаемых опытах с индивидуальной обработкой солью 42,33%, иодом 31,46%, кислотой 39,9%, в опытах с тотальной обработкой глюкозой 45,0% и солью 9,3%. Эти данные показывают, что из исследованных химических факторов наиболее эффективна глюкоза. Однако результат ее действия оказался не выше, а даже несколько ниже результата действия травматизации или трансплантации. Из опытов с солью следует, что эффективность воздействия зависит от концентрации химикалия: насыщенный раствор соли значительно эффективнее слабого (0,5%).

При воздействиях на стадии II*b* общий положительный результат регенерации в опытах с однократной травматизацией ([5]) составляет 17,1%, причем только за счет частичной регенерации, а в опытах с глюкозой — 50,1%, в опытах с иодом и с тотальной обработкой солью — отсутствует.

При воздействиях на стадии III*a*, когда в контроле регенерация совершенно отсутствует, общий положительный результат в опытах с глюкозой достигает 30,0% за счет случаев только с частичной регенерацией.

Из приведенных данных, полученных в опытах на стадиях II*b* и III*a*, может составиться представление, что глюкоза является специфическим эффективным фактором, стимулирующим регенерацию в тех случаях, когда другие факторы оказываются неэффективными или мало эффективными. Однако такой вывод был бы преждевременным. Во-первых, на этих стадиях было исследовано мало химических факторов, и, во-вторых, опыты с повторной травматизацией показывают, что на этих стадиях не менее эффективными могут быть и другие воздей-

Таблица 1

Серия опыта	Стадия при операции	Всего было оперировано животных	Осталось для учета	Зафиксировано на ранних стадиях: результат не установлен	Зафиксировано на ранних стадиях: положительный результат	Обе ножки регенерировали полностью: число случаев	Обе ножки регенерировали полностью: %	Обе ножки регенерировали частично: число случаев	Обе ножки регенерировали частично: %	Обе ножки не регенерировали: число случаев	Обе ножки не регенерировали: %	Положительный результат: Правая ножка регенерировала полностью, левая не регенерировала: число случаев	%	Правая ножка регенерировала частично, левая не регенерировала: число случаев	%	Правая ножка регенерировала полностью, левая частично: число случаев	%	Положительный результат: Суммарно: число случаев	%	Отрицательный результат: Правая ножка не регенерировала, левая регенерировала частично: число случаев	%	Правая ножка регенерировала частично, левая полностью: число случаев	%	Отрицательный результат: Суммарно: число случаев	%	Общий положительный результат, %
Повторная травматизация . .	II*b*	72	48	—	8	—	—	5	1,04	11	22,92	10	20,83	11	22,92	8	16,67	29	60,42	3	6,25	—	—	3	6,25	54,17
Индивидуальная обработка солью . .	II*a*	129	85	7	3	17	20,0	6	7,06	20	23,53	23	27,06	8	9,41	8	9,41	39	45,86	2	2,35	1	1,18	3	3,53	42,33
Индивидуальная обработка иодом . .	II*a*	167	89	24	14	6	6,74	5	56,18	40	44,94	11	12,36	18	20,22	4	4,49	33	37,08	5	5,62	—	—	5	5,62	31,46
То же . . .	II*b*	21	18	3	—	—	—	—	—	18	100,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Индивидуальная обработка кислотой	II*a*	30	27	—	1	2	7,41	2	7,41	10	37,03	3	11,11	4	14,81	4	14,81	11	47,4	1	3,7	1	3,7	2	7,41	39,9

Таблица 2

Серия опыта	Стадия при операции	Всего было оперировано животных	Осталось для учета	Зафиксировано на ранних стадиях		Полная регенерация		Частичная регенерация		Отсутствие регенерации		Положительный результат		Общий положительный результат, %
				результат не установлен	положительный результат	число случаев	%	число случаев	%	число случаев	%	число случаев	%	
Контроль (простая ампутация)	I	30	21	9	—	17	80,05	2	9,52	2	9,52	19	89,6	—
	II*a*	25	25	—	—	9	36,0	—	—	16	64,0	9	36,0	—
	II*b*	110	90	—	—	—	—	21	23,3	69	76,7	21	23,3	—
Колхицин	I	67	44	11	—	39	88,6	1	2,3	4	9,1	40	90,0	0
Глюкоза (тотальная обработка)	II*a*	43	31	1	7	19	61,3	3	9,7	9	29,0	22	71,0	45,0
	II*b*	25	15	6	4	7	46,7	4	26,6	4	26,6	11	73,4	50,1
	III*a*	30	10	11	6	—	—	3	30,0	7	70,0	3	30,0	30,0
Соль (тотальная обработка)	II*a*	57	53	—	4	19	35,9	5	9,43	29	54,7	24	45,3	9,3
	II*b*	57	40	5	2	5	12,5	1	2,5	34	85,0	6	15,0	0
	III*a*	23	15	7	1	—	—	1	6,7	14	93,3	1	6,7	—

ствия. Общий положительный результат регенерации при воздействиях на стадии II*b* в опытах с однократной травматизацией ([5]) составляет 17,1%, но в опытах с повторной травматизацией (4-кратная травматизация, проводимая в течение 4 суток) 54,17%, а при обработке глюкозой в течение 115 часов за 8 суток 50,1%. Отсюда можно заключить, что для восстановления регенерационной способности имеет значение не столько характер применяемого воздействия (травматизация, обработка глюкозой, солью и др.), сколько продолжительность интенсивного воздействия.

Несколько в стороне от основного вопроса, рассматриваемого в настоящей статье, стоят данные по действию колхицина на регенерацию. Основной вопрос относится к выяснению возможности восстановить утраченную регенерационную способность действием химических факторов на ампутированные конечности у головастиков. Опыты с колхицином имели целью подавить регенерацию конечностей у головастиков на тех стадиях (стадия I), когда в норме регенерация у них происходит. Торнтон ([11]) показал, что колхицин в разведении 1 : 1000 и 1 : 1500 полностью подавляет процесс регенерации конечностей у личинок амблистомы. Однако в наших опытах колхицин в разведении 1 : 1000 при его действии в течение 260 часов за 19 суток не подавлял регенерации конечностей у головастиков *Rana temporaria*, ампутированных на стадии I. Замечалось лишь небольшое замедление в развитии регенератов. Повидимому, различие в результатах опытов Торнтона и наших объясняется различием в подопытном материале. Дальнейшие опыты должны будут выяснить, заключается ли указанное различие в поведении тканей регенерирующих конечностей головастиков и личинок амблистомы в степени их резистентности к колхицину или оно выражает качественно различный характер процессов регенерации у этих видов животных. Из наших прежних данных ([6]) следует, что при регенерации конечностей у головастиков митотический коэффициент значительно ниже, а явления дедифференцировки тканей остатка органа значительно глубже, чем при регенерации конечностей у аксолотлей. Если бы колхицин действовал только на процесс клеточного деления, то полученное расхождение предлагаемых данных и данных Торнтона ([11]) было бы понятно. Однако колхицин действует и иным образом. Поэтому

остается вероятным предположение, что ткани конечностей головастиков более резистентны к действию колхицина, чем таковые у личинок амблистомы. Может быть, большие концентрации колхицина могут затормозить регенерационную способность конечностей у головастиков.

Выводы. 1. У головастиков *Rana temporaria* можно восстановить утраченную регенерационную способность задних конечностей химическими методами: индивидуальной обработкой ампутационной раневой поверхности насыщенным раствором соли (хлористого натрия), 10% спиртовым раствором иода, 10% раствором азотной кислоты или путем тотальной обработки животного 5% раствором глюкозы.

2. При условиях данного опыта наиболее активным фактором оказалась глюкоза.

3. Методы химической обработки не более эффективны, чем методы травматизации и трансплантации, при помощи которых можно возобновить регенерационную способность конечностей у головастиков.

4. Возможность возобновления регенерационной способности конечностей у бесхвостых амфибий зависит от интенсивности и продолжительности примененного экспериментального воздействия.

5. Воздействие колхицина в разведении 1 : 1000 в течение 260 часов не подавляет процесса регенерации конечностей у головастиков *Rana temporaria* при ампутации на стадии I.

Институт цитологии, гистологии
и эмбриологии
Академии Наук СССР

Поступило
8 II 1945

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

[1] L. D. Liosner, Roux' Arch., 124 (1931). [2] Л. В. Полежаев, Биол. журн., 2 (1933). [3] Л. В. Полежаев, Арх. анат., гистол. и эмбриол., 14 (1935). [4] Л. В. Полежаев, ДАН, XXII, стр. 648 (1939). [5] Л. В. Полежаев, ДАН, XXII, стр. 652 (1939). [6] Л. В. Полежаев, ДАН, XXX, стр. 365 (1941). [7] Л. В. Полежаев и Г. И. Гинцбург, ДАН, XXIII, стр. 732 (1939). [8] Л. В. Полежаев и И. И. Морозов, ДАН, XXX, стр. 670 (1941). [9] S. M. Rose, Proc. Soc. exp. Biol. and Med., **49**, 408 (1942). [10] O. E. Schotté and M. Harland, J. Morph., 73 (1943) [11] C. S. Thornton, J. exp. Zool., **92** (1943).

Доклады Академии Наук СССР
1945. Том XLVIII, № 3

ЗООЛОГИЯ

М. Я. ТЕПЛЯКОВА

СРАВНИТЕЛЬНЫЕ ДАННЫЕ ПО РАЗВИТИЮ ОРГАНОВ РАЗМНОЖЕНИЯ ВРЕДНОЙ ЧЕРЕПАШКИ *EURYGASTER INTEGRICEPS* PUT НА РАВНИНЕ ЮГА СССР И В УЗБЕКИСТАНЕ

(Представлено академиком И. И. Шмальгаузеном 22 IX 1944)

Огромный рост численности вредной черепашки на юге Европейской части СССР и в Средней Азии, указывающий на приспособленность этого вредителя к разнообразным условиям окружающей среды, в значительной степени зависит от развития и функций его половых желез, интенсивно развивающихся уже с личиночного периода. Однако полное развитие гонад у имаго, помимо эндокринных и иных внутренних факторов, зависит также и от климатических условий, определяющих специфические закономерности и цикличность в их развитии.

Личиночное развитие черепашки (с середины мая до середины июля в Европейской части СССР и с середины апреля до начала июня в Узбекистане) характеризуется формированием и ростом органов женской и мужской половой системы и началом ово- и сперматогенеза. У имаго, наряду с продолжающимся морфогенезом, происходит подготовка к созреванию гонад, прерываемая зимней диапаузой, после чего, к весне следующего года, происходит созревание половых продуктов.

Изучение материала из Кашка-Дарьинской области Узбекистана за время экспедиции Академии Наук СССР в 1942 г. выявило некоторые особенности в развитии половой системы среднеазиатской вредной черепашки в отличие от европейской.

Также как и у черепашки Ростовской области и Краснодарского края ([3]), половая система у только что вылупившихся личинок самцов и самок в Узбекистане очень сходна. Гонады, состоящие у самок с каждой стороны из 7 веерообразно расположенных яйцетрубочек, а у самцов из 7 фолликулов, образующих бобовидный семенник, как и у европейской черепашки, расположены между I и II сегментами брюшка, но менее оформлены и более рыхлы. В дальнейшем характер развития этих органов у обоих полов все более расходится. До четвертого возраста гонады узбекистанской черепашки заметно отстают в росте. Далее яичники внешне, по объему, растут быстрее, но внутреннее развитие их, а в связи с этим и внешнее формирование, по сравнению с европейской черепашкой, задерживается примерно на время развития одного возраста. Размножение оогоний начинается, повидимому, с четвертого возраста, но и в пятом возрасте довольно длинные, с четкими яйцеобразующими отделами яйцетрубочки (рис. 1, *А*) находятся еще в разъединенном состоянии и ткани их имеют еще довольно рыхлый вид. Впоследствии вершины яйцетрубочек постепенно сближаются, и яичники принимают боченкообразный вид, в отличие от пальцеобразных яичников европейской черепашки (рис. 1, *Б*), у которой внутри верхних отделов яйцетрубочек в это время происходит интенсивное де-

ление оогоний на ооциты первого порядка, часть из которых все более отстает в росте (будущие питающие клетки).

Как и у европейской черепашки, гонады личинок самцов в Узбекистане развиваются аналогично гонадам самок. С третьего возраста в выпуклых фолликулах семенников европейской черепашки идет размножение сперматогоний, а книзу от фолликулов все более выявляется общая выводная камера. Семенники личинок среднеазиатской черепашки с четвертого возраста сильно варьируют в величине и бывают вдвое меньше семенников ростовской черепашки, но фолликулы их ста-

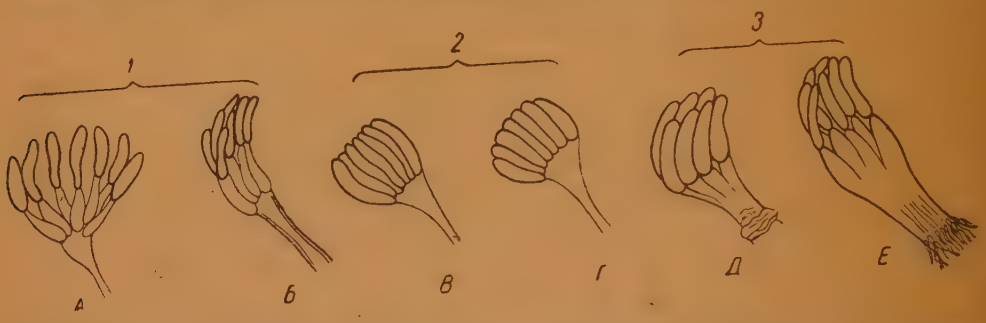


Рис. 1. *1*—левые яичники личинок вредной черепашки 5-го возраста: *А* — узбекистанской, *Б*—европейской; *2*—левые семенники личинок 5-го возраста: *В* —узбекистанской, *Г* — европейской; *3* — левые яичники имаго перед осенней миграцией: *Д* — узбекистанской, *Е* — европейской

новятся четко оформленными. Вероятно, с этого момента в них начинается размножение клеток из зародышевого эпителия. Среди варьирующих семенников пятого возраста (рис. 1, *Б*) встречаются по объему большие, чем семенники этого возраста европейской черепашки, но по внутреннему развитию они, повидимому, несколько отстают. В начале пятого возраста наряду с ростом веерообразное расположение фолликулов семенников сменяется лопатообразным (фиг. 1, *В*, *Г*). У европейской черепашки в этом возрасте верхние зоны фолликулов заняты сперматоцитами, в нижних происходит их деление, продолжающееся и в предимагинальный период. Выводные отделы фолликулов в это время еще пусты.

Проводящие пути в первом возрасте личинок очень тонкие, нитевидные, без видимой полости, оканчиваются у самцов в IX сегменте ампуловидными утолщениями, а у самок теряются в складках будущего влагалища в VIII сегменте. С третьего возраста проводящие пути становятся трубчатыми. Яйцеводы с этого времени прогрессивно утолщаются, уплощаются и укорачиваются, соединяясь в непарный яйцевод, книзу от которого уже в пятом возрасте все более развивается обширное влагалище с хитинизирующимся желобком, вблизи от которого впоследствии развивается семяприемник, а по бокам бурсы. В отличие от личинок европейской черепашки, яйцеводы личинок в Узбекистане и упомянутые дополнительные органы вначале развиваются медленнее, выравниваясь в темпах развития к стадии имаго.

К ампуловидным утолщениям концов семяпроводов у личинок европейской черепашки с конца третьего возраста примыкает эктодермальная, карманообразная складка, внутри которой впоследствии развивается семенной канал с расширенной в виде резервуара верхней частью. В предимагинальный период вместе с ростом семенников и интенсивным делением сперматоцитов продолжается укорочение семяпроводов и начинается морфогенез придаточных желез. Эти процессы у личинок в Узбекистане проходят несколько медленнее.

У имаго перед отлетом с полей (июль в Европейской части СССР, июнь в Узбекистане) морфогенез половой системы самок в основном

заканчивается (рис. 1, *Е*). Удлиненные и утолщенные яйцетрубочки принимают часто колбасообразную форму, четко отделяясь от их выводных отделов. В вершинах яйцетрубочек телотрофического типа, наряду с растущими яйцеклетками, имеются питающие их клетки, от которых в будущем отходят протоплазменные тяжи к ооцитам следующих камер. Вокруг яйцетрубочек развивается богатая сеть трахей. В конце широких коротких яйцеводов к этому времени развиваются дополнительные бахромчатого вида железы, служащие для образования клейкой, внешней оболочки яиц при прохождении их в непарный яйцевод, переходящий во влагалище. На высоте верхней трети хитинового желобка влагалища в него впадает проток ретортообразного семяприемника, по бокам влагалища имеются бурсы, а внизу — опорные пластинки влагалища. В отличие от европейской вредной черепашки, у кашкадарьинских самок яйцетрубочки в предотлетный период значительно тоньше и короче или непропорционально длине утолщены от усиленного снабжения их трахеями (рис. 1, *Д*). Дополнительные железы яйцеводов также менее развиты, но, по сравнению с личиночным периодом, вся половая система сильно продвигается в развитии. Как европейская, так и среднеазиатская вредная черепашка мигрирует с полей с недоразвитыми яичниками, как это у *Eurygaster maura* описывал Соколов (2) и многие авторы у других *Hemiptera*. В таком состоянии или несколько продвинувшись в развитии яйцетрубочек, в зависимости от условий начала летовки в равнине, предгорьи и в горах Средней Азии, яичники самок пребывают от $9^1/_2$ месяцев (как в Европейской части СССР) до 11 месяцев. Стадия большого роста ооцитов в европейской равнине начинается с ранней весны на базе внутренних питательных запасов. Созревание же яичников происходит при усиленном питании весной на посевах и дикой растительности. В Узбекистане второй период роста ооцитов и начало усиленного накопления желтка зависит от условий высоты залегания и может задерживаться до конца апреля. Перелет с гор в долину (1) происходит также последовательно волнообразно с конца второй декады марта до второй декады мая.

По сравнению с личиночным периодом, у предотлетных самцов имаго семенники сильно увеличиваются за счет общего роста их и раздутости от множества подходящих под их оболочку трахей. Эта раздутость особенно сильна у среднеазиатской вредной черепашки, она облегчает вес тела при полетах в горы. Придаточные железы в количестве пяти и одной рудиментарной к этому периоду имеют вид извитых клубочков у места впадения семяпроводов в расширенную часть семенного канала. У самцов в Узбекистане придаточные железы в этот период бывают еще недоразвиты. В фолликулах идет массовое деление сперматоцитов и образование пресперматид. Как и самки, самцы мигрируют с полей с недоразвитыми семенниками. Спустя некоторое время после миграции на зимовку или летовку семенники вступают в период созревания. Уплотняясь, они становятся грушевидно-овальными, в их оболочках начинает накапливаться малиново-красный пигмент, в фолликулах происходит преобразование пресперматид, в выросших и утолщенных придаточных железах появляется зернистый секрет. Еще до весенней миграции в семенниках образуются зрелые сперматозоиды, заполняющие фолликулы, выводную камеру и семяпроводы, набухшие придаточные железы заполняются секретом. Начало созревания семенников у самцов в горах Узбекистана и, вследствие этого, окончательное формирование их и семяпроводов и накопление в них пигмента несколько задерживается, но затем, повидимому, созревание идет быстрее. Как и у самок, развитие отдельных органов половой системы самцов во времени происходит последовательно в соответствии с началом их функционирования.

С морфо-физиологической стороны развитие гонад вредной черепашки характеризуется периодом роста, соответственно размножению кле-

ток зародышевого эпителия и началу роста сперматоцитов или ооцитов до летней миграции. и более длительным периодом созревания, продолжающимся до $9^1/_2$ месяцев, а в высокогорных областях и более. В этот период семенники, соответственно уплотнению созревающих половых продуктов, претерпевают обратное уменьшение объема и принимают окончательную, типичную форму, а яйцетрубочки, соответственно росту ооцитов с все более интенсивным накоплением значительного количества желтка, увеличиваются в объеме и принимают четковидную форму.

Наблюдавшаяся у европейской вредной черепашки прямая зависимость между ростом corpora allata (аналогичных гипофизу позвоночных животных) и развитием гонад [3], меняющимися в зависимости от сезона, наблюдается и у узбекистанской черепашки, причем в изменении роста corpora allata (как и в соответственном развитии половых желез) замечается некоторая зависимость и от высоты мест зимовки при сохранении, однако, общей тенденции влияния сезона, отображенного на рис. 2.

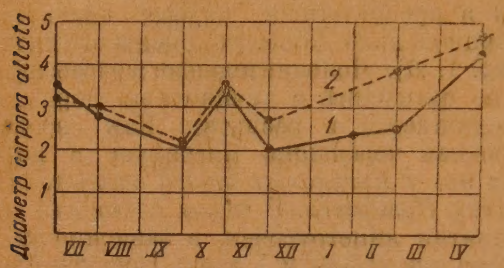


Рис. 2. На ординатах отложены в относит. единицах средне-арифметич. между большими и малыми диаметрами corpora allata (которые чаще всего имеют неправильно округлую форму)
1 — самцы, *2* — самки

Наряду с анатомо-физиологическими отличиями от европейской вредной черепашки, в горно-долинных условиях Средней Азии усложняется и биология вредителя. Благодаря различным условиям зимовок на различных высотах и, в зависимости от этого, различным темпам созревания половых желез весенняя миграция с гор в долину происходит волнообразно во времени и пространстве. Это приводит к изменяющейся численности вредителя на посевах и создает различные условия деятельности его в долине. Все более усиливающаяся солнечная радиация и повышающаяся среднесуточная температура несколько ускоряют развитие яиц и личинок и, в силу этого, с одной стороны, снижается смертность черепашки, с другой стороны, высокая температура при малой влажности, действуя гибельно на слабых личинок первых двух возрастов, снижает численность общей массы вредителя. Оба эти фактора нивелируют разницу в сроках развития личинок и создают видимость синхронного развития нового поколения.

Разновысотные условия летовок, зимовок и резерваций создают неравномерность дальнейшего развития гонад и снова приводят к широкой вариации в величине и некоторому отличию в их внутреннем развитии, что и позднее вместе с климатическими факторами обусловливает волнообразность весенней миграции, а также смешение некоторой части особей, мигрировавших с разных высот, на полях при размножении.

Лаборатория морфологии беспозвоночных
Института эволюционной морфологии
им. А. Н. Северцова Академии Наук СССР

Поступило
22 IX 1944

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

[1] К. В. Арнольди, ДАН, XL, № 1 (1943). [2] Н. Соколов, Маврский клоп Eurygaster maura или черепашка, СПБ, Департамент земледелия, 1901. [3] М. Я. Теплякова, Изв. АН СССР, сер. биол., № 2 (1941).

ками (например $\underline{S}$). Особенно это касается таких букв, как V и v, S и s, O и o, K и k, U и u и т. п. С этой же целью следует тщательно выписывать такие буквы, как u и n, g и q, I и J, l и e, m и n, V и U и др. Следует также делать различие между O (большим), o (малым) и 0 (нулем), для чего буквы O и o подчеркивать двумя черточками: $\underline{\underline{O}}$ и $\underline{\underline{o}}$, а 0 (нуль) оставлять без подчеркивания.

Греческие буквы должны быть подчеркнуты красным карандашом. Готические буквы — синим карандашом.

16. Все упоминаемые в статьях величины и единицы измерения должны соответствовать стандартным обозначениям (если таковые имеются) согласно ОСТ ВКС.

17. Цитируемая в статье литература должна даваться автором не в виде подстрочных примечаний, а общим списком в конце статьи, с обозначением в тексте статьи ссылки на цитируемую работу порядковой цифрой.

18. Даваемая в списке литература должна быть оформлена в следующем порядке:

а) для книг должны быть указаны инициалы и фамилия автора; точное и полное название книги, номер тома и год издания;

б) для журнальных статей должны быть указаны: инициалы и фамилия автора, название журнала, номер тома (подчеркнуть сплошной линией), номер выпуска, страница и год (последний обязательно в круглых скобках);

в) нельзя в цитированной литературе делать ссылки на неопубликованные работы.

19. Весь иллюстративный материал к статьям представляется отдельно, ни в коем случае не должен приклеиваться к оригиналу, подписи к фигурам должны быть даны отдельно.

20. На обороте оригиналов рисунков должны быть указаны фамилия автора, название статьи и № рисунка.

21. Чертежи должны содержать все необходимые буквенные обозначения (кривых, отдельных деталей) и не содержать никаких лишних обозначений и надписей. Надписи по возможности должны быть заменены цифрами или буквенными обозначениями, которые должны иметь пояснения в тексте или в подписи к рисунку.

22. Авторы должны избегать повторения одних и тех же данных в таблицах, графиках и тексте статьи.

23. Места, предназначенные к набору петитом, должны быть отмечены вертикальной чертой на полях.

24. В случае возвращения автору статьи для доработки, дата поступления считается с момента получения редакцией окончательного текста.

Адрес редакции: Москва, Волхонка, 14. Издательство Академии Наук СССР,
тел. К 5-93-09

Цена 4 руб.

К СВЕДЕНИЮ ПОДПИСЧИКОВ

В 1945 г. будет выпущен сверх годового комплекта дополнительный, 50-й том журнала

«ДОКЛАДЫ АКАДЕМИИ НАУК СССР»

(русское и иностранное издания)

объемом — 45 печатных листов

Цена тома 36 руб.

Подписка принимается до 1 сентября 1945 г. в Отделениях «Союзпечати», а также Конторой «Академкнига» — Москва, Волхонка, 14 и ее Отделениями: в Ленинграде — Литейный, 53а, Свердловске — ул. Малышева, 58, Ташкенте — Пушкинская, 31.

«АКАДЕМКНИГА»